This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

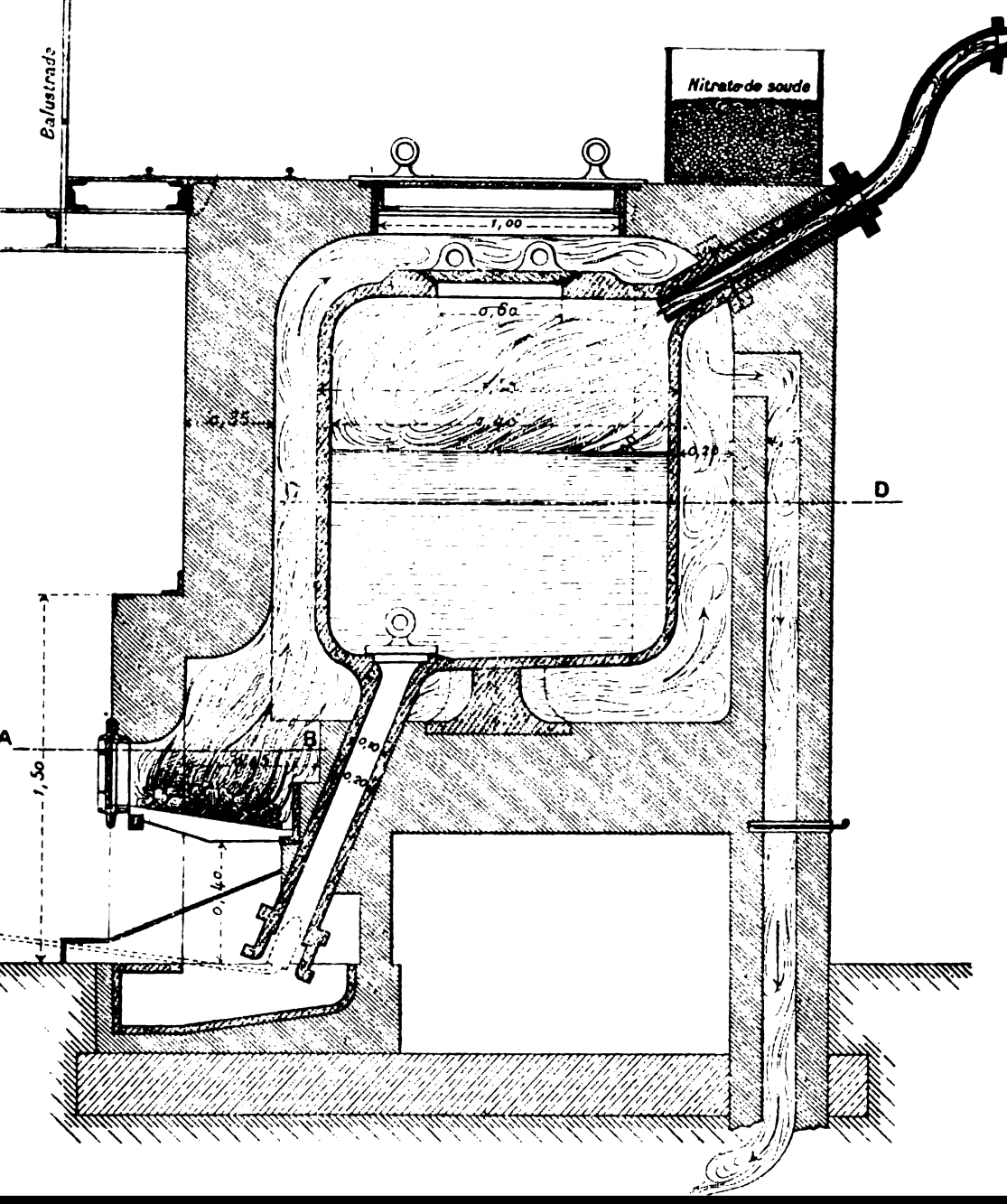
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

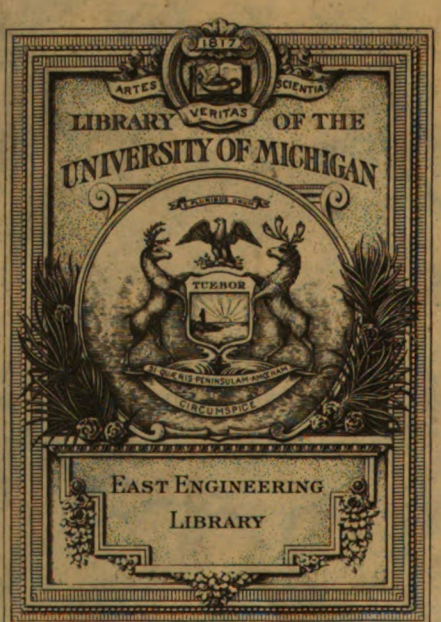
About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



Mémorial des poudres

Digitized by Google



G.E. STECHERT & Co
(ALFRED HAFNER)
Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

East Engin.
Library
TP
270
.A2
M53

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

Digitized by Google

21013. PARIS. — IMPRIMERIE GAUTHIER-VILLARS ET FILS,

QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55.

Digitized by Google

MÉMORIAL

DES

POUDRES ET SALPÊTRES

PUBLIÉ PAR LES SOINS

DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES,

AVEC L'AUTORISATION

DU MINISTRE DE LA GUERRE.

TOME SEPTIÈME.

PARIS,

GAUTHIER-VILLARS ET FILS, IMPRIMEURS-LIBRAIRES

DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,

Quai des Grands-Augustins, 55.

1894

(Tous droit réservés.)

Digitized by Google

Digitized by Google

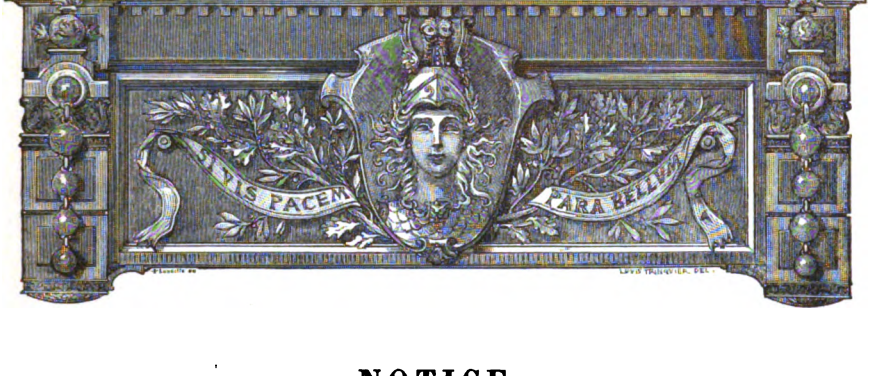
East Eng. Lib.
Dept. Eng. Res.
8-4-37

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

Digitized by Google

Digitized by Google



NOTICE

SUR LE

SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES

PUBLIÉE A L'OCCASION DU

CENTENAIRE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE;

PAR

M. Émile SARRAU,

Membre de l'Institut,
Ingénieur en chef des poudres et salpêtres.

I.

ORGANISATION.

L'administration des poudres et salpêtres fut créée, en 1775, sous le ministère de Turgot. L'illustre Lavoisier fut l'un des premiers chefs de la nouvelle administration, qui ne tarda pas à être érigée en service public.

Ce service dépendit d'abord du ministère des finances, dont il

Digitized by Google

ne fut séparé momentanément que pendant la période révolutionnaire, pour être mis sous les ordres d'une commission, dite des armes et poudres, placée sous les ordres directs du comité de salut public.

Ses principaux fonctionnaires furent : trois administrateurs généraux résidant à Paris, trois inspecteurs généraux chargés de la surveillance du service dans les départements, des directeurs-gérants placés à la tête des établissements de fabrication sous le nom de *commissaires des poudres et salpêtres*.

Nul ne pouvait parvenir aux emplois du service sans avoir été élève et, pour être admis en cette qualité, il fallait avoir subi un examen au concours sur la géométrie, la mécanique élémentaire, la physique et la chimie (1).

En 1800, le premier consul voulut rattacher plus particulièrement la régie des poudres et salpêtres au service militaire, et il fut statué qu'elle serait mise dans les attributions du ministre de la guerre, que ses administrateurs auraient à rendre compte à ce ministre et au premier inspecteur général de l'artillerie, et que les poudreries seraient inspectées par des officiers supérieurs de l'artillerie (2). L'organisation de l'administration était maintenue d'ailleurs dans la même forme et par les mêmes agents, à l'exception seulement de quelques dispositions réglementaires nouvelles.

C'est à partir de cette époque que des élèves sortant de l'École polytechnique entrent dans les poudres et salpêtres en se présentant au concours réglementaire, où ils obtiennent immédiatement tous les emplois vacants.

Par une lettre du 21 juillet 1810 au général Gassendi, chef de la direction de l'artillerie au ministère de la guerre, le comte de Cessac, gouverneur de l'École polytechnique, faisant valoir que les concours ouverts par les administrateurs des poudres et salpêtres, ayant lieu à toutes les époques de l'année suivant les vacances qui se produisaient, dérangeaient beaucoup les élèves de l'École qui désiraient y prendre part, demanda que les places disponibles dans les poudres et salpêtres fussent réservées exclusivement aux anciens élèves de l'École polytechnique et qu'elles fus-

(1) Loi du 27 fructidor, an V.
(2) Arrêté du 27 pluviôse, an VIII.

Digitized by Google

sent données comme les autres places dans les autres services publics.

Cette proposition fut acceptée et le recrutement exclusif des fonctionnaires des poudres et salpêtres à l'École polytechnique, prescrit d'abord par un arrêté ministériel du 27 juillet 1810, fut définitivement sanctionné par un décret impérial en date du 1er mai 1815.

A partir de l'année 1816 jusqu'en 1865, le service des poudres et salpêtres est rattaché à l'artillerie.

L'ordonnance du 20 novembre 1816 institue, dans les établissements, des officiers d'artillerie en qualité d'inspecteurs permanents; celle du 19 novembre 1817 supprime les régisseurs et inspecteurs généraux des poudres et salpêtres et confie la *direction générale des poudres* à un lieutenant général d'artillerie en activité; par une ordonnance du même jour, le comte Ruty est nommé directeur général.

Les commissaires sont maintenus, comme précédemment, directeurs-gérants des établissements,

Ce régime, dont le principe fut maintenu et développé par les ordonnances du 15 juillet 1818 et du 26 février 1839, fut marqué par de sérieuses difficultés. En rapprochant, dans chaque établissement et en permanence, deux ordres de fonctionnaires, ayant la même origine, la même instruction, et dont l'activité avait à s'exercer sur le même objet sous des formes différentes, le système inauguré par l'ordonnance de 1816 fut la cause d'un antagonisme dont les effets, toujours croissants, portèrent à l'œuvre commune le plus grave préjudice.

Les inconvénients, chaque jour plus sensibles, de cet état de choses déterminèrent la mesure qui, en 1865, fit le partage entre la guerre et les finances.

Le décret du 17 juin 1865 supprime, à dater du 1er janvier 1866, la direction des poudres et salpêtres.

Le ministère de la guerre est chargé de la fabrication exclusive des divers types de poudres nécessaires aux services militaires et il conserve à cet effet cinq poudreries.

Le ministère des finances fabrique toutes les poudres de mine,

Digitized by Google

de commerce et de chasse et, en général, toutes les matières explosives destinées à être vendues aux particuliers; il reçoit à cet effet du ministère de la guerre, sept poudreries, trois raffineries de salpêtre, une raffinerie de soufre et une parcelle de l'ancienne raffinerie de Paris, sur laquelle fut organisé, sous le nom de *Dépôt central,* un établissement qui, progressivement agrandi et transformé, est devenu le Laboratoire central des poudres et salpêtres.

Ce décret est complété par celui du 9 novembre 1865, suivant lequel la fabrication des poudres de vente et le raffinage du salpêtre sont ajoutés à la direction générale des tabacs, pour former une administration unique sous le nom de *direction générale des manufactures de l'État.*

Le conseil d'administration se compose du directeur général et de trois administrateurs, dont un pour les poudres et salpêtres. Le personnel du commissariat est réuni à celui du service des tabacs sous le nom commun d'*ingénieurs des manufactures de l'État.* Les élèves-ingénieurs se recrutent à l'École polytechnique en se spécialisant toutefois, dès leur sortie, pour les tabacs ou pour les poudres. L'École où ils complètent en commun leur instruction technique prend le nom d'*École d'application des manufactures de l'État.*

Pendant la guerre de 1870-1871, les poudreries civiles sont exclusivement affectées à la fabrication des poudres de guerre.

Trois ans plus tard, en vue de la reconstitution des approvisionnements de l'artillerie, les poudreries et raffineries civiles sont replacées dans les attributions du département de la guerre (décret du 13 novembre 1873) et, suivant la disposition réclamée à l'Assemblée, par le général Frébault, l'article 11 de la loi du 18 mars 1875, relative à la constitution des cadres de l'armée, statue que la direction de la fabrication des poudres et autres substances explosives monopolisée est confiée à un corps spécial d'ingénieurs se recrutant directement à l'École polytechnique et placé sous l'autorité directe du ministre de la guerre.

Le décret du 9 mai 1876, portant règlement sur l'organisation et les attributions du corps des *ingénieurs des poudres et salpêtres,* institue, au ministère de la guerre, un service spécial, indépendant des services consommateurs; une poudrerie (Le Bou-

Digitized by Google

chet) demeure réservée aux officiers de l'artillerie de terre. Le corps des ingénieurs comprend :

2 inspecteurs généraux,
8 ingénieurs en chef,
14 ingénieurs,
12 sous-ingénieurs et un nombre d'élèves-ingénieurs proportionné aux besoins du service;

il est soumis aux lois et règlements sur les pensions civiles.

La loi sur l'administration de l'armée attribue aux ingénieurs des poudres et salpêtres les bénéfices de la loi de 1834 sur l'état des officiers.

Les élèves-ingénieurs suivent, pendant deux ans, les cours de l'École d'application dont le siège est au Laboratoire central des poudres et salpêtres.

Un Comité spécial, dit *consultatif,* dont les travaux devaient avoir exclusivement pour objet le « perfectionnement de l'art », fut institué, près de la direction générale, par l'ordonnance de 1818. Il se composait du directeur général président, d'un membre de l'Académie des sciences et d'un commissaire des poudres et salpêtres.

Supprimé en 1829, ce comité reparaît en 1839 avec une composition nouvelle dans laquelle figurent, avec les anciens membres, trois délégués de la guerre, de la marine et des finances introduits pour donner aux ministères consommateurs « de nouvelles garanties sous les divers rapports des progrès de l'art, de la fabrication et de l'économie ».

Le Comité consultatif a enfin été rétabli et réorganisé, dans le nouveau service, par le décret du 9 mai 1876. Il se compose :

du président du comité d'artillerie, président;
de deux officiers généraux de l'armée de terre;
d'un officier de l'artillerie de marine;
d'un officier du génie;
d'un membre de l'Académie des sciences;
du directeur général des contributions indirectes;
d'un inspecteur général des mines;
des deux inspecteurs généraux des poudres et salpêtres et d'un ingénieur en chef du même service remplissant les fonctions de secrétaire avec voix consultative.

Digitized by Google

La disposition qui maintient dans le comité, depuis sa création, un membre de l'Académie des sciences (1) témoigne de l'importance constamment attribuée par le législateur aux ressource de la science dans la mise en œuvre du service. C'est donc en s'inspirant de l'esprit même de son institution que ce comité, ayant éventuellement à se prononcer sur les questions relatives à la fabrication et à l'emploi des substances explosives, dans la guerre et dans l'industrie, pensa qu'il était nécessaire de créer une commission spécialement chargée « de l'éclairer sur les besoins des divers services intéressés, sur les inventions réelles ou prétendues de matières explosives qui se produisent chaque jour et de fournir au comité consultatif et au service des poudres et salpêtres les moyens d'approfondir l'étude des questions qui peuvent lui être soumises ».

Conformément à ces propositions, la *Commission des substances explosives* fut instituée par décret du 11 juin 1878 et définitivement organisée par celui du 23 juillet suivant, sous la présidence de M. Berthelot.

Elle est composée de membres titulaires et permanents pris dans les services intéressés, et de membres adjoints et temporaires nommés par le ministre, sur la demande de la commission ou des services intéressés, pour l'étude de questions déterminées se rapportant à leur spécialité.

La commission siège au Laboratoire central des poudres et salpêtres ; le laboratoire et les instruments d'épreuve de cet établissement et de la poudrerie de Sevran-Livry sont mis à sa disposition.

La suite de cet exposé fera connaître le résultat des mesures qui ont donné l'autonomie au service des poudres et salpêtres et ont mis à sa disposition ces puissants moyens d'investigation.

La participation de l'artillerie au fonctionnement du service et la coopération des officiers et ingénieurs des divers services intéressés aux diverses recherches de la commission des substances

(1) Les membres de l'Académie des sciences qui ont successivement siégé au comité consultatif des poudres et salpêtres sont : Gay-Lussac, Pelouse et M. Berthelot.

Digitized by Google

explosives donnent à l'ensemble des résultats obtenus le caractère d'une œuvre collective. Cette notice ne se rapporte donc pas seulement aux travaux des fonctionnaires, commissaires ou ingénieurs, des poudres et salpêtres : elle est le résumé des efforts faits en commun, par des polytechniciens, pour l'industrie et la défense du pays.

II.

TRAVAUX TECHNIQUES.

Les poudres fabriquées par l'État sont destinées à la guerre, à la chasse et aux mines.

Depuis la création du service jusqu'au milieu de ce siècle, les conditions de l'armement sont restées sensiblement les mêmes et le soin minutieux avec lequel la guerre avait réglé la réception de ses poudres, afin d'en conserver rigoureusement les propriétés balistiques, entraînait comme conséquence une telle détermination des appareils et des procédés que toute modification du matériel et des opérations se trouvait en fait interdite. Dans toute l'étendue du système d'artillerie, composé de pièces en bronze à projectiles sphériques, on employait une même poudre, très peu différente de celle qui servait aux fusils; on la fabriquait par le procédé des pilons et il ne fut dérogé à cette fabrication traditionnelle que dans des cas tout à fait exceptionnels, par un emploi des tonnes de trituration qui fut qualifié révolutionnaire.

D'autre part, une poudre peu différente de la poudre de guerre s'adaptait convenablement aux armes de chasse alors en usage et. à une époque où était à peine soupçonnée la possibilité d'explosifs plus puissants que la poudre, un mélange quelconque des trois constituants de la poudre semblait devoir suffire à toute la pratique des mines.

Toute voie paraissait donc fermée au progrès, et l'activité des jeunes polytechniciens s'est d'abord portée dans d'autres direc-

Digitized by Google

tions. Le premier d'entre eux, le commissaire des poudres Champy (J.-N.), de la première promotion de l'École, fit partie du groupe de savants attachés à l'expédition d'Égypte et mérita par ses services la confiance et l'estime toute particulière du premier consul (1). Les commissaires des poudres accompagnaient les armées en campagne; on les trouve ensuite, pendant les grandes guerres de l'empire, organisant le service et créant des établissements de fabrication, sous les ordres des gouverneurs militaires, en Italie (Turin, Pise, Parme et Tivoli), en Espagne (Pampelune, Saragosse et Tudela), en Belgique (Liége et Bruxelles), en Allemagne (Mayence, Neuss, Trèves et Hambourg), à Corfou et jusqu'à Java et Saint-Domingue.

Après cette période agitée, les efforts se portèrent sur les procédés de fabrication, dans la mesure restreinte imposée par l'immutabilité des poudres de guerre. En 1822, le commissaire des poudres Maguin (1807) demanda et obtint l'autorisation de se rendre en Angleterre pour visiter les fabriques de poudre et chercher à découvrir le procédé employé pour fabriquer la poudre de chasse superfine (*Dartfordpowder*), qui était réputée la meilleure d'Angleterre. Il y parvint et, suivant les indications de son rapport, la direction des poudres fit établir, à la poudrerie du Bouchet, un appareil de carbonisation par distillation et des meules de trituration qui, dès l'année 1824, permirent d'obtenir des poudres égales aux poudres anglaises, ainsi que le constate le rapport d'une commission de cinq membres, parmi lesquels Chaptal, Thenard et Prony.

De nouvelles améliorations se produisent ensuite. Le commissaire des poudres Violette (1828) introduit, en 1847, un procédé de distillation du bois par la vapeur surchauffée et des modifications avantageuses sont apportées à ce procédé par le commissaire des poudres Gossart (1841), dont les travaux sont bien malheureusement interrompus par l'explosion qui l'a tué, avec sept de ses agents, le 4 mai 1858.

Les gaz et goudrons produits par la distillation sont utilisés comme combustibles, en 1856 par M. d'Hubert (1841) à la pou-

(1) Il est mort au Caire, de la peste.

Digitized by Google

drerie du Bouchet, et par M. Maurouard (1842) à la poudrerie de Metz; on doit à ce dernier des appareils de carbonisation qui paraissaient réaliser tous les perfectionnements désirables (1).

D'incessantes et heureuses tentatives sont faites pour améliorer les appareils de fabrication; enfin, dans le projet d'installation de la poudrerie de Sevran-Livry (2), M. Maurouard a tracé les règles qui doivent guider les ingénieurs dans la construction des poudreries et qui sont universellement appliquées aujourd'hui.

A ces travaux intéressant la pratique du service, les commissaires des poudres ajoutaient des études méthodiques manifestement inspirées par l'esprit scientifique de l'École. Telles sont les remarquables recherches de Violette sur les propriétés générales des charbons distillés, les expériences de E. Faucher (1832) sur la marche et le travail des meules, les recherches expérimentales de Maurey (1831) sur les causes d'explosion dans la fabrication des poudres par les meules.

Le service n'a possédé pendant longtemps qu'un seul appareil d'épreuves dont les indications fussent précises, le mortier-éprouvette. C'est vers 1824 que le premier fusil-pendule paraît avoir été établi à la direction des poudres et c'est en 1826 que le premier canon-pendule a été construit à la poudrerie d'Esquerdes, où il servit à de remarquables expériences du commissaire des poudres Maguin, dont il sera parlé ultérieurement.

D'autres pendules, perfectionnés, furent ensuite installés aux poudreries de Metz, du Bouchet et d'Angoulême, et c'est avec le canon-pendule de Metz que la commission des principes du tir a exécuté, de 1836 à 1842, la première série d'expériences métho-

(1) Ces appareils ont été installés par M. Maurouard, à la poudrerie de Metz (1861) et à la poudrerie de Sevran (1869); à la suite de la guerre de 1870-1871, les Allemands, devenus possesseurs de la poudrerie de Metz, ont reproduit une installation semblable à la poudrerie de Spandau.

(2) La poudrerie de Sevran offre le premier exemple, en France, d'une poudrerie complètement actionnée par la vapeur, suivant deux systèmes différents. Dans le premier, dit *rayonnant*, une machine centrale transmet le mouvement à l'aide de câbles métalliques partant d'une tour polygonale et aboutissant aux usines qui sont disposées en demi-cercle. Dans le second, dit *longitudinal*, les machines alimentées par un groupe commun de chaudières, transmettent le mouvement à des câbles métalliques parallèles, qui font chacun le service d'une rangée d'usines.

Digitized by Google

diques sur les vitesses réalisées dans les bouches à feu. De 1861 à 1865, sous la direction de M. d'Hubert, le canon-pendule du Bouchet a servi à la détermination des vitesses imprimées aux projectiles cylindro-ogivaux de 4 et de 12, par les pièces rayées du système Treille de Beaulieu, et aux premières études sur les charges comprimées qui furent employées plus tard, sous forme de rondelles, dans les pièces de Reffye.

A partir de 1867, les pendules furent remplacés avec avantage par les chronographes électriques (1). Le service emploie aujourd'hui des chronographes Le Boulengé pour la mesure des vitesses, des chronomètres à écrasement pour la mesure des pressions, et c'est avec ces appareils perfectionnés qu'il poursuit méthodiquement, de concert avec l'artillerie de terre et l'artillerie de marine, les études et la réalisation des poudres du nouvel armement (2).

D'autres objets se sont successivement offerts aux recherches du service. Le salpêtre a été, dès l'origine, l'une de ses plus vives préoccupations, non pas au point de vue des procédés à employer pour amener ce produit au degré de pureté nécessaire, car ces procédés ont été facilement trouvés et réalisés, mais au point de vue des difficultés qu'a présentées l'approvisionnement, tant que l'on n'a employé que des salpêtres naturels. D'innombrables décrets se rapportent à cet objet, pendant la longue suite des guerres de la République et de l'Empire, et, pour utiliser les ressources éparses sur le territoire, il fut nécessaire de multiplier les raffineries, qui, en 1811, étaient au nombre de seize, comme les poudreries. C'est pour le traitement des matériaux salpêtrés qu'a été imaginée et adoptée, en 1820, par le comité consultatif des poudres et salpêtres, la méthode du lessivage méthodique, qui rend encore des services importants dans un grand nombre d'industries. Aujourd'hui, la presque totalité du salpêtre s'obtient en traitant le nitrate de soude par des sels de soude, et ce procédé de fabrication fut signalé, dès 1818, par le commissaire des

(1) Il convient de rappeler, à cette occasion les noms du colonel Martin de Brettes (1833) et du capitaine Schultz (1852).

(2) La mesure de la densité des poudres est un élément important des épreuves; le service emploie, à cet effet, le densimètre à mercure construit par M. Bianchi à la demande du colonel Mallet (1816) et l'appareil, très simple, imaginé par M. le colonel Ricq (1858).

Digitized by Google

poudres Durand (1810) (1). Sur sa proposition, et à la suite d'un rapport du comité consultatif en date du 16 décembre 1818, le général Ruty autorisa des expériences en grand, qui eurent un plein succès.

La facilité progressive de l'approvisionnement et des moyens de transport a conduit à réduire beaucoup le nombre des raffineries et à substituer aux établissements exigus d'autrefois de vastes installations, telles que la raffinerie de Lille, dont la construction fut confiée, en 1863, au commissaire des poudres Violette. Bien qu'elle soit concentrée dans un espace plus restreint, la raffinerie de Bordeaux peut livrer annuellement, à la suite des perfectionnements qu'elle a reçus (2), près de quatre millions de kilogrammes de salpêtre raffiné.

Les raffineries sont actuellement au nombre de trois (Lille, Bordeaux, Marseille); leurs opérations comprennent le raffinage du salpêtre et sa fabrication par conversion.

Un autre ordre de recherches s'est imposé après la découverte du coton-poudre, qui donna l'espoir de remplacer, dans toutes ses applications, la vieille poudre noire par un explosif plus puissant. La direction des poudres ordonna immédiatement des essais de fabrication, qui furent faits au Bouchet, sous la direction du commissaire des poudres Maurey et sous la surveillance particulière de M. Maurouard, alors élève-commissaire. La difficulté était d'obtenir un produit stable, non susceptible de décomposition spontanée, et la terrible explosion survenue en 1848, au cours de ces essais, montra tous les dangers d'une fabrication dont les produits, sous leur forme originelle, avaient été d'ailleurs reconnus impropres à la pratique des armes. Cette fabrication fut donc officiellement abandonnée ; mais le mémoire publié, en 1864, par Pelouze et Maurey, « au sujet des nouveaux procédés de M. le général autrichien baron Lenk pour la fabrication et l'emploi de cette matière », témoigne que le service ne s'était pas en fait désintéressé de la question.

---

(1) Il est l'auteur d'un ouvrage intitulé : *Considérations sur la nitrification*, publié à Toulouse en juin 1824.

(2) M. Biffe (1851).

Digitized by Google

Après la guerre de 1870-1871, le service s'occupa de la dynamite, pour la guerre et pour l'industrie; c'est en faisant l'étude de cette fabrication que le sous-ingénieur Dordins (1863) fut tué, à la poudrerie de Saint-Médard, par l'explosion du 13 septembre 1873. Les travaux faits à la poudrerie de Vonges par les ingénieurs L. Faucher (1856), et H. Boutmy (1865), en vue de diminuer les dangers de la fabrication de la dynamite, ont valu à leurs auteurs le prix des arts insalubres décerné, en 1879, par l'Académie des sciences. Mais la loi du 8 mars 1875 ayant autorisé la fabrication de la dynamite par l'industrie privée, la fabrication de l'État s'est bientôt réduite aux besoins de la guerre, qui n'a pas tardé à remplacer la dynamite par le coton-poudre, puis par la mélinite.

A peine le service était-il réorganisé, qu'il eut à accomplir une œuvre considérable. L'armement venait d'être profondément modifié; aux anciens canons, l'artillerie de terre et de mer venait de substituer des pièces d'acier, à projectiles allongés, se chargeant par la culasse, et lorsque, en 1877, fut agitée la question de la reconstitution corrélative des approvisionnements de guerre, le ministre de la guerre adopta les mesures proposées par le service et le comité consultatif des poudres et salpêtres. Grâce à ces mesures, la puissance productive des poudreries fut accrue, avec une dépense relativement faible et une rapidité extrême, de telle sorte que la fabrication annuelle des poudres de guerre a atteint 12 millions de kilogrammes, sans que les besoins des autres départements ministériels soient restés un seul jour en souffrance. Plus de 100 millions de kilogrammes de poudres diverses ont été fabriquées ainsi, sans qu'aucun accident grave se soit produit pendant onze années de travail continu de jour et de nuit.

Les types des nouvelles poudres de l'artillerie de terre ont été réalisés par M. le colonel Castan (1855), à la poudrerie militaire du Bouchet. Les types des poudres destinées à l'artillerie de la marine sont dus aux ingénieurs qui se sont succédé à la poudrerie de Sevran-Livry (1).

Dans ce dernier établissement, la poudre prismatique brune

(1) MM. Maurouard, Arnould, Lambert, directeurs.

Digitized by Google

allemande a été reproduite, en trois mois, sans que la France ait eu, comme d'autres pays, à dépenser aucune somme pour obtenir le secret de cette fabrication (1).

Les recherches faites à l'occasion de ces types ont contribué, pour une large part, à la détermination de l'influence exercée par les éléments variables de la fabrication (durée de trituration, lissage, dosage, qualités physiques des grains) sur les propriétés balistiques des poudres et à celle du mode de combustion des matières agglomérées par la compression.

Le couronnement de cette œuvre de progrès incessants est la découverte de la poudre sans fumée faite, en 1884, par M. l'ingénieur Vieille (1873), au Laboratoire central des poudres et salpêtres. Cette poudre (poudre B) a été immédiatement adoptée comme base de l'armement et sa fabrication a été organisée, avec une extrême rapidité, dans trois établissements du service (2).

La fabrication des nouvelles poudres n'était pas la seule qui fût imposée par la réforme de l'armement : il fallait, en outre, des explosifs spéciaux, tant pour le chargement des torpilles que pour celui des projectiles creux. Dès l'année 1873, le service avait créé, près de Brest, un établissement pour la fabrication du coton-poudre comprimé suivant le procédé Abel; cette fabrication a reçu, dans deux établissements (3), une extension considérable. De plus, la fabrication de la mélinite a été organisée, dans trois poudreries (4), de manière à satisfaire sans retard à tous les besoins de l'approvisionnement.

La mélinite et, plus généralement, les explosifs azotés susceptibles d'être employés aux divers usages militaires, sont encore, à la poudrerie du Bouchet, l'objet d'une étude incessante et approfondie (5), et c'est au cours d'une opération se rapportant à cet objet que le commandant d'artillerie Pierron a été mortellement atteint dans un accident (1890).

Enfin, la nouvelle fabrication comportant une consommation

---

(1) MM. Lambert et Barral.
(2) MM. Lambert, Bérard, Louppe, directeurs.
(3) MM. Desmaroux, Maissin, directeurs.
(4) MM. Billardon, Jacotot, Chobillon, directeurs.
(5) MM. les colonels Castan, Ricq, directeurs; M. le commandant Pierron, M. le capitaine Lépidi.

Digitized by Google

considérable d'éther, une fabrique capable d'assurer, en tout temps, une grande production de cette substance, a été installée à Bordeaux (1), dans des conditions aussi satisfaisantes que possible.

Pendant qu'il se préoccupait ainsi des questions d'ordre supérieur qui intéressent la défense du pays, le service ne perdait pas de vue l'intérêt financier qui s'attache à la vente des poudres. C'est dans le but de développer cette vente qu'il a pris l'initiative de mesures telles que la création de nouveaux types de poudres de chasse et de mine, l'abaissement du prix de la poudre de commerce extérieur, la fabrication de cartouches comprimées au coton-poudre et au nitrate d'ammoniaque, la mise en vente de poudres de chasse sans fumée.

La première poudre de chasse pyroxylée française fut mise en vente en 1882, à la suite des recherches de M. l'ingénieur Maissin; des études faites ensuite à la poudrerie de Sevran ont abouti à la création de nouveaux types perfectionnés qui, depuis 1890, sont livrés à la consommation sous les désignations S et J (2).

Les poudres fabriquées, à prix réduits, pour l'exportation comprennent aujourd'hui, avec la poudre de commerce extérieur, des poudres de chasse, des poudres de mine et des poudres de guerre parmi lesquelles, sous la désignation BN, figurent des types créés à la poudrerie de Sevran, qui, sans avoir la même composition et les mêmes qualités que les nouvelles poudres réglementaires, constituent des poudres à grande puissance balistique destinées aux fusils de petit calibre et aux canons de tous calibres.

En autorisant la fabrication et la vente des types BN, le gouvernement français a voulu donner aux grandes sociétés industrielles qui ont établi en France de grands ateliers de construction d'artillerie et sont devenues les fournisseurs de plusieurs gouvernements étrangers, les poudres appropriées à leurs bouches à feu des divers modèles; il a même consenti à fabriquer et à fournir à

(1) M. Biffe, directeur.

(2) Le composition et les premiers essais de la fabrication de la poudre J, à base de coton-poudre et de bichromate d'ammoniaque, sont dus à M. l'ingénieur Bruneau.

Digitized by Google

l'industrie privée, dans les mêmes conditions que les poudres BN, les types de poudre sans fumée dont la fabrication courante à l'étranger pouvait être authentiquement établie. Le département de la guerre ne croit pas possible de donner aujourd'hui plus ample satisfaction à l'industrie, estimant qu'en allant au delà il risquerait de compromettre les intérêts de la défense nationale et de contribuer au progrès des artilleries étrangères. Si, un jour, le maintien du secret cesse d'être une nécessité, la mise en vente des produits inventés et fabriqués par le service des poudres et salpêtres est destinée à devenir, pour le Trésor, une ressource de la plus haute importance.

Actuellement, les établissements du service occupent une superficie totale de 600 hectares environ; ils disposent d'une force motrice de plus de 3000 chevaux et emploient un personnel de 3000 ouvriers. Le personnel supérieur ne comprend que 36 fonctionnaires, dont 2 inspecteurs généraux.

Les fabrications si diverses d'explosifs sont réparties dans onze poudreries et l'importance de ces fabrications a conduit à donner à plusieurs de ces établissements un développement considérable; leur étendue dépasse 100 hectares. Généralement pourvues de moteurs hydrauliques, les poudreries de l'État sont établies sur des cours d'eau qui, avec les plantations destinées à amoindrir l'effet des explosions, contribuent à donner à l'ensemble un aspect particulièrement riant et pittoresque, fort différent de celui que présentent habituellement les usines de l'industrie et atténuant, d'une façon fort heureuse, l'impression que peut produire la nature inquiétante des opérations.

A propos des dangers inhérents à ces fabrications, il n'est pas sans intérêt de rappeler que, suivant une statistique due à M. l'ingénieur Désortiaux (1873), grâce aux dispositions successivement réalisées, le nombre des accidents mortels survenus dans les poudreries, par 1000 ouvriers et par année, s'est successivement abaissé de 3,63 à 2,61 et à 0,68 pendant les périodes successives 1820-1872, 1873-1883, 1884-1889. La proportion correspondante est beaucoup plus grande dans les fabriques d'explosifs de l'industrie privée; elle n'est pas moindre dans certaines industries (travaux de maçonnerie et de charpenterie, exploitation des che-

Digitized by Google

mins de fer, etc.), réputées moins dangereuses. Un tel résultat a pu être obtenu au prix de précautions minutieuses rigoureusement observées; mais des accidents successifs, à la suite desquels quatre jeunes ingénieurs ont été blessés, dans ces dernières années, attestent que, sur ce terrain, les recherches ne se font pas par des sentiers faciles.

Les travaux de la Commission des substances explosives forment aujourd'hui un dossier considérable; ils comprennent un grand nombre de rapports et de procès-verbaux d'expériences se rapportant aux questions les plus diverses. Les unes d'ordre purement pratique : examen des explosifs proposés par l'industrie, application des explosifs aux opérations de guerre, tubes et cordeaux détonants, moyens de prévenir les explosions du grisou dans le tirage des mines, etc.; les autres, non moins importantes, sont d'ordre théorique; il en sera donné plus loin un aperçu.

Quelques travaux de la commission et ses rapports annuels au ministre sont insérés dans le *Mémorial des poudres et salpêtres,* institué, en 1881, pour publier les travaux du service et pour recueillir, tant en France qu'à l'étranger, les documents et les faits susceptibles d'aider à son fonctionnement. Cette publication, dont les matériaux n'ont jamais fait défaut, renferme, avec les études sur la fabrication (1), des mémoires se rapportant à des objets, tels que l'emploi des explosifs en agriculture, la régularisation des machines, la justesse du fusil modèle 1874, la diffusion des gaz, les vibrations élastiques des canons, etc. (2), qui témoignent de la variété des sujets que le service offre aux recherches de ses ingénieurs.

Les travaux accomplis pendant la dernière guerre méritent une mention spéciale.

---

(1) Telles sont les recherches de M. Billardon sur les poudres de chasse dont le fonctionnement dans les armes a pu être étudié par l'emploi d'une cible tournante réalisée par MM. Billardon et Dou, permettant d'apprécier la dispersion des plombs ainsi que leurs vitesses individuelles. Telle est aussi l'étude, faite par M. Messier, d'un procédé ayant pour effet d'éviter, dans la fabrication des poudres, la manipulation, toujours dangereuse, du coton-poudre sec.

(2) MM. Coutagne, Bérard et Léauté, Billardon, Joulin, Liouville.

Digitized by Google

En province, les poudreries civiles apportèrent le concours le plus actif à la défense nationale. Afin d'éviter l'achat onéreux, à l'étranger, des poudres qui faisaient défaut, on utilisa les machines affectées d'ordinaire à la poudre de mine, pour créer une poudre spéciale pouvant remplacer la poudre réglementaire dans le tir du fusil modèle 1866. Ce procédé, dû à M. l'ingénieur L. Faucher, alors directeur de la poudrerie du Pont-de-Buis, fut adopté par le gouvernement de Tours qui en prescrivit l'application dans les poudreries d'Angoulême, de Pont-de-Buis et de Toulouse. 500000^{kg} de poudre, fabriqués ainsi à un prix très réduit, purent être livrés à bref délai. Dans les mêmes poudreries furent, en outre, organisés des ateliers de cartouches dont la production fut considérable.

A Paris, au commencement d'octobre, un mois environ après l'investissement, l'administration de la guerre décida la création d'une grande fabrique de poudres dans l'intérieur même de la ville, et elle chargea de ce service M. Maurouard, alors directeur de la poudrerie de Sevran.

La mesure était grave et le souvenir du désastre survenu à Grenelle, lors de la fabrication révolutionnaire de 1794, n'était pas un encouragement à une telle entreprise; elle a pourtant pleinement réussi.

Un emplacement favorable à la construction de cette poudrerie fut trouvé dans la partie de l'avenue Philippe-Auguste comprise entre les rues de Charonne et de Montreuil et, sur ce point, fut établie l'enceinte d'une superficie de 65000^{mq}, dans laquelle la construction des bâtiments et l'installation des appareils furent faites en moins d'un mois.

Le procédé de fabrication était celui des tonnes et presses; les appareils étaient actionnés par des machines à vapeur.

Au complet développement de la poudrerie, sa fabrication était de 7000^{kg} par jour, et le 28 janvier, quand l'armistice vint brusquement interrompre le travail, la production totale avait dépassé 300000^{kg}.

Le fonctionnement de la poudrerie comporta l'emploi de trois cents ouvriers qui, à défaut de poudriers, durent être pris dans les professions les plus diverses, toutes étrangères à la fabrication

Digitized by Google

de la poudre; les opérations furent néanmoins poursuivies sans donner lieu à aucun accident (1).

III.

TRAVAUX SCIENTIFIQUES.

L'étude expérimentale des explosifs offre des difficultés spéciales, par suite de la grandeur des forces qui se produisent et de l'extrême rapidité avec laquelle ces forces se développent.

Les expériences entreprises par Rumford, en 1792, ont donné la première évaluation de la pression que la poudre produit en vase clos. Les analyses de Gay-Lussac et de Chevreul ont fait connaître, en 1823 et 1825, le volume et la composition des gaz qui résultent de sa combustion. Ces données furent les seules connues dans la première moitié de ce siècle.

D. Bernoulli, Euler, Robins avaient abordé théoriquement les effets de la détente des gaz dans les bouches à feu; mais, dans ces essais, la combustion de la poudre était considérée comme instantanée et cette manière d'envisager le phénomène ne pouvait qu'induire en erreur sur les conditions réelles de sa production.

Le rapport adressé au ministre de la marine, le 18 juin 1832, sur les expériences faites avec le canon-pendule à la poudrerie d'Esquerdes, par le commissaire des poudres Maguin, témoigne qu'il avait très exactement apprécié déjà l'influence que la combustion progressive de la charge exerce sur les effets produits dans une bouche à feu.

Il est dit dans ce rapport, à propos des défauts attribués par Maguin à la poudre réglementaire des pilons, que « le feu mis à une charge de cette poudre se communique de proche en proche avec lenteur à travers les interstices étroits qui séparent les

(1) Les ingénieurs chargés du service de la poudrerie Philippe-Auguste, sous la direction de M. Maurouard, étaient MM. Sarrau, Lambert, Boutmy et Beigbeder.

Digitized by Google

grains, ... Ces grains, petits et peu denses, se brûlent rapidement et le fond de la charge, entièrement enflammé avant que le feu ait pu se communiquer jusqu'en haut, projette en avant et le boulet et le reste de la charge, dont une portion brûle dans la longueur de l'âme en ajoutant peu à la vitesse du boulet, et dont l'autre ne s'enflamme qu'après sa sortie du canon ».

On lit plus loin : « En général, pour obtenir le maximum d'effet, il faut que les dimensions du grain de la poudre soient proportionnées au calibre de l'arme à laquelle elle est destinée ». Ainsi se trouve, pour la première fois, énoncé le principe de similitude, dont l'application joue un rôle de plus en plus important dans les conditions actuellement adoptées par l'artillerie.

C'est conformément à ces vues que Maguin fit, de 1832 à 1835, de nombreuses expériences pour apprécier l'influence de la grosseur et de la densité du grain, et c'est dans ces expériences que l'on employa, pour la première fois, des grains dont les dimensions atteignaient 10^{mm}.

A la même époque se placent les premières études du général Piobert (1813) sur la théorie des effets de la poudre. Ces études, qui ont servi de base au cours d'artillerie créé par l'auteur, en 1831, à l'École d'application de Metz, sont résumées dans un mémoire présenté, le 12 octobre 1835, à l'Académie des sciences et inséré dans le *Recueil des savants étrangers*. Les notions sur l'inflammation de la charge et la combustion des grains, qui la composent, y sont précisées et résumées dans des formules ingénieuses, qui donnent le poids de la fraction de la charge brûlée à un instant quelconque.

Pour établir ces formules, Piobert a admis que la combustion d'un grain se propage, avec une vitesse constante, normalement aux surfaces en ignition; pour réduire ces formules en nombres, il a fait une longue série d'expériences ayant pour but de déterminer, sous la pression atmosphérique, la vitesse de combustion de la matière et la vitesse d'inflammation des traînées de poudre, pour des compositions et des fabrications diverses, pensant qu'il obtiendrait ainsi l'évaluation, au moins approchée, des éléments similaires dans les armes.

En combinant ces données avec les résultats des expériences de

Digitized by Google

Rumford, Piobert parvint à étudier approximativement le mouvement du projectile, pendant les premiers instants, de manière à étudier l'influence des divers éléments de la fabrication sur les vitesses, ainsi que les propriétés des divers modes de chargement relativement aux dégradations de l'âme des bouches à feu.

C'est ainsi qu'il porta quelque lumière dans les résultats confus des expériences entreprises, en 1829, sur les poudres brisantes, et qu'il fut conduit, en vue de la diminution des effets destructeurs des poudres dans les armes, au système dit des charges allongées. Ce mode de chargement, proposé par Piobert en 1833, devint réglementaire et l'expérience qui en fut faite, notamment dans la guerre d'Orient, démontra qu'il était en effet très favorable à la conservation des bouches à feu.

L'œuvre de Piobert est considérable : elle a inauguré l'analyse exacte des phénomènes balistiques suivant les méthodes ordinaires de la mécanique rationnelle; ses lacunes tiennent surtout à l'insuffisance des données scientifiques de l'époque. On sait aujourd'hui que la vitesse de combustion de la poudre n'est pas constante, comme le supposait Piobert; elle varie avec la pression du milieu où la combustion s'opère. Quant à la théorie rigoureuse du phénomène, elle dépend essentiellement des lois, alors inconnues, qui régissent la transformation de la chaleur en travail dans les machines thermiques.

La modification de la théorie, suivant la thermodynamique, a été introduite par M. Resal, alors ingénieur des mines, dans ses *Recherches sur le mouvement des projectiles,* publiées en 1864, et l'équation, qui en résulte, sert de base à toutes les recherches postérieures.

Peu de temps après se produit une évolution qui est d'une importance capitale pour la théorie; les mémorables recherches de M. Berthelot, inaugurées pendant le siège de Paris, ouvrent une voie nouvelle en réduisant à la thermochimie, suivant des règles simples, les phénomènes explosifs en apparence si complexes. Conformément à ces vues, les facteurs principaux des effets d'un explosif sont la chaleur dégagée par sa décomposition et le volume des gaz produits; la pression développée par un poids déterminé de l'explosif dans une capacité déterminée est proportionnelle au

Digitized by Google

produit de ces deux facteurs; la chaleur dégagée mesure le maximum de travail qu'il peut accomplir.

Ces principes ont guidé, dès leur apparition, les recherches des ingénieurs des poudres qui, en 1873, ont déterminé expérimentalement les facteurs caractéristiques des diverses poudres fabriquées en France et ont étendu ces déterminations à d'autres explosifs (coton-poudre, dynamite, acide picrique, picrates, etc.) (1).

Ces règles si simples ne constituent qu'une première approximation; pour calculer exactement la pression, il faut connaître : la composition et la chaleur de formation des produits de l'explosion, la chaleur spécifique de ces produits; il faut enfin connaître, pour ces produits, un élément que des théories physiques nouvelles ont introduit, sous le nom de *covolume,* dans les formules de la compression des fluides.

De nombreuses déterminations de ces éléments ont été faites au Laboratoire central des poudres et salpêtres; à cet effet, il a fallu réaliser des appareils calorimétriques spéciaux et faire un nombre considérable d'analyses chimiques (2). La détermination des chaleurs spécifiques a été effectuée, suivant une méthode fondée sur la mesure des pressions développées en vases clos par des mélanges gazeux explosifs, d'après le mouvement que ces pressions impriment à un piston (3). La détermination des covolumes a été déduite, par le calcul, d'expériences récentes sur la compressibilité des fluides (4).

La commission des substances explosibles a utilisé ces diverses données théoriques dans son rapport sur les questions relatives à l'emploi des explosifs en présence du grisou (5).

Les pressions produites par les explosifs peuvent se déterminer par expérience; on les évalue aujourd'hui, suivant la méthode imaginée par le capitaine Noble, de l'artillerie anglaise, en mesurant l'écrasement d'un petit cylindre en cuivre rouge, placé entre

(1) MM. Roux et Sarrau.
(2) MM. Berthelot, Sarrau, Vieille.
(3) MM. Berthelot et Vieille.
(4) M. Sarrau.
(5) M. Mallard, inspecteur général des mines, rapporteur.

Digitized by Google

une enclume fixe et la tête d'un piston, dont la base, de section connue, reçoit l'action des gaz.

Il a été nécessaire de faire d'abord l'étude approfondie du fonctionnement de cet appareil et de déterminer les conditions sous lesquelles il est possible de déduire de ces indications, moyennant un tarage spécial, l'évaluation rigoureuse des pressions. Cette étude a été faite au Laboratoire central (1), en déterminant la loi suivant laquelle le mouvement du piston s'opère sous l'action de la pression des gaz et de la résistance du cylindre.

Cette loi se déduit du tracé obtenu sur un cylindre tournant, suivant un dispositif qui permet d'enregistrer avec régularité des mouvements dont la durée, pour certaines matières à combustion rapide, ne dépasse pas 3 ou 4 dix-millièmes de seconde.

Les résultats obtenus avec ce manomètre enregistreur ont servi, soit à vérifier l'exactitude des formules, soit à déterminer expérimentalement les éléments qu'elles renferment.

Les manomètres à écrasement servent aussi à mesurer la pression maximum dans l'intérieur des armes de tout calibre et l'adoption, due à l'initiative du général Frébault, de ce petit appareil, d'un fonctionnement simple et commode, a puissamment aidé au progrès de la balistique expérimentale en France (2).

Les recherches théoriques sur les effets de la poudre dans les armes se poursuivaient en même temps avec persévérance. A l'occasion des études qu'il fit, en 1872, pour fixer les types des poudres du nouveau matériel de l'artillerie de terre, M. le colonel

---

(1) MM. Sarrau et Vieille.

(2) La mesure des pressions développées par les gaz de la poudre a été, en France, l'objet de travaux fort remarquables; on les rappellera ici, bien qu'ils se rapportent plus particulièrement aux études spéciales de l'artillerie. On doit à M. le colonel Ricq un enregistreur à indications continues, qui a valu à son auteur le prix de mécanique décerné, en 1874, par l'Académie des sciences. De 1872 à 1876, M. le général Sebert, de l'artillerie de la marine, a établi, avec la collaboration de M. Marcel Deprez, différents types d'appareils (balances manométriques, accélérographes, accéléromètres, etc.) servant également à la mesure et à l'inscription des pressions dans les vases clos et dans les armes. En 1880, M. Sebert a fait connaître un nouvel appareil qui, placé à l'intérieur d'un projectile creux, enregistre, pendant le parcours de ce projectile, toutes les circonstances de son mouvement (projectile enregistreur).

Digitized by Google

Castan avait été amené à constater expérimentalement l'influence de la pression sur la vitesse de combustion de la poudre et à remarquer que cette influence était rendue manifeste par les conditions mêmes du tir. Il était donc nécessaire d'avoir égard à cette circonstance et de l'exprimer analytiquement dans l'équation du mouvement du projectile; l'équation du problème étant ainsi posée, en tenant compte de toutes ses conditions, sa solution se réduisait à une question de pure analyse.

Cette solution a été obtenue, en 1874, par M. Sarrau (1857), et ses développements successifs ont conduit à des formules qui expriment les vitesses et les pressions en fonction de toutes les variables du tir, y compris celles qui caractérisent la poudre employée et dépendent directement de la force de la substance, de la forme du grain et de la durée de sa combustion. Ces formules, adoptées pour l'enseignement de l'École d'application de l'artillerie et du génie, s'appliquent à la question du chargement des canons, au choix de la poudre et à son utilisation la meilleure dans chaque cas.

Une conséquence de ces formules, signalée en 1874, est relative à l'emploi des explosifs azotés à grande puissance dans les armes; elles indiquent, en effet, que ces explosifs sont susceptibles de produire, avec la même pression maximum, des vitesses supérieures à celles que donne la poudre noire, sous la condition de régler convenablement la durée de leur combustion. C'est parce que cette condition essentielle n'était pas remplie que les premiers essais de tir faits avec des poudres de cette nature (coton-poudre, picrate d'ammoniaque, etc.) ont échoué, par suite des propriétés brisantes qu'elles possédaient, sous la forme immédiate qui résultait de leur fabrication.

On doit signaler toutefois, comme marquant un acheminement vers l'emploi rationnel des explosifs puissants dans les armes, les essais faits, en France, avec les poudres au picrate d'ammoniaque fabriquées sur les indications de M. le général Brugère (1859).

C'est à la fin de l'année 1884 qu'une méthode générale, permettant de régler le mode de combustion des explosifs azotés et de l'approprier à une arme de calibre quelconque, a été trouvée

Digitized by Google

par M. Vieille; cette méthode est fondée sur l'emploi de ces explosifs sous forme colloïdale. Les recherches relatives à cet objet ont été faites au Laboratoire central des poudres et salpêtres, à l'aide du manomètre enregistreur. Les résultats des premiers tirs, effectués avec une poudre de cette espèce dans un canon de 65^{mm}, ont été signalés au ministre de la guerre le 23 décembre 1884. Il était dès lors établi que les nouveaux procédés permettaient d'obtenir les effets balistiques de la poudre noire avec la même pression et avec une charge réduite au tiers environ et que la puissance des armes pouvait être notablement accrue, conformément à la théorie, avec une moindre réduction de la charge, tout en conservant les pressions ordinaires.

Le type adopté pour le fusil modèle 1886 a permis d'accroître de 100^{m}, pour les mêmes pressions, les vitesses qui pouvaient être pratiquement réalisables dans cette arme, et c'est grâce à ce gain de vitesse, et aux tensions de trajectoires qui en résultent, que la supériorité de cette arme de petit calibre s'est trouvée hors de contestation.

La substitution des explosifs azotés à la poudre noire entraîne des avantages balistiques de même ordre dans tous les types de bouche à feu; les produits de la décomposition des explosifs azotés étant tous gazeux, cette substitution a eu comme conséquence prévue la suppression de la fumée dans le tir.

L'Académie des sciences a attribué à M. Vieille, pour sa découverte, le prix Leconte, qui est le plus important dont elle dispose. On nous permettra de reproduire ici la conclusion du rapport établi à cette occasion; elle marque le caractère scientifique de la découverte.

L'auteur de cette découverte ne doit rien au hasard; sa connaissance approfondie de la science des explosifs, et les indications des appareils de laboratoire qu'il a réalisés, l'ont conduit sûrement au but qu'il s'était proposé : dès la première expérience balistique, les résultats ont été trouvés conformes aux conclusions de l'auteur. En décernant le prix à M. Vieille, la commission a la satisfaction de récompenser une découverte qui, procédant de la Science, contribue à la défense du pays.

On doit encore à M. Vieille une étude sur les ondulations de

Digitized by Google

pression susceptibles de se produire dans les éprouvettes allongées, en raison de la dissymétrie du chargement ou de l'inflammation, qui permet d'analyser et d'expliquer certains phénomènes de surpression, qui se produisent en effet dans la pratique des bouches à feu. Le même ingénieur a doté l'artillerie d'un manomètre qui permet d'enregistrer les pressions dans les bouches à feu, jusqu'à l'instant du maximum, par une transformation des appareils en usage, qui n'en complique pas l'emploi et n'entraîne aucune modification du canon, dans lequel ils sont installés.

De nombreux travaux sont encore en élaboration dans le service et dans les commissions.

On terminera ici cet exposé, peut-être trop long et trop détaillé; mais c'est un privilège des petits services de pouvoir énumérer toutes leurs œuvres. Dans le cas actuel, cette énumération peut avoir son excuse dans l'importance des résultats obtenus. Les découvertes finales du service ont profondément modifié les conditions de la guerre; elles n'ont peut-être pas été sans influence sur les conditions de la paix. Les travaux du service sont d'ailleurs intéressants parce que, dans toute leur étendue, ils portent l'empreinte de l'esprit scientifique de l'École : physique, chimie, mécanique, analyse mathématique, tout a été mis à contribution pour le développement d'une œuvre qui, tout entière, procède de la science, pour la défense du pays.

Paris, 11 mars 1894.

Digitized by Google

APERÇU HISTORIQUE

SUR LE

SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES;

PAR

M. E. DÉSORTIAUX,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

Depuis le commencement du XIV^e^ siècle jusqu'à nos jours, l'histoire du service des poudres et salpêtres présente sept périodes distinctes.

Dans la première (1338-1547), le service constitue un corps spécial mais directement rattaché à l'artillerie et comprenant un certain nombre d'employés civils munis de privilèges royaux (*salpêtriers, faiseurs et compositeurs de poudre*).

Dans la seconde période (1547-1628), les villes et communautés du royaume doivent livrer la moitié de la fourniture annuelle de salpêtre. C'est de cette époque que date la création des *commissaires* et des *contrôleurs des poudres et salpêtres* (1582).

La troisième période est celle des marchés (1628-1775), relatifs, d'abord à la fourniture du salpêtre seul (1628-1640), puis à l'exploitation générale des salpêtres et poudres (1665-1775). De cette époque date la création du *surintendant général des poudres et salpêtres* (1634), du *commissaire général des poudres et salpêtres* et des *commissaires inspecteurs des poudres et magasins* (1703).

Pendant la quatrième période (1775-1816), au système des marchés fut substitué celui de l'exploitation du service pour le compte du gouvernement : c'est l'époque de la *régie* et des

Digitized by Google

agences nationale et *révolutionnaire*. De cette période date l'institution des *régisseurs* (1775), des *inspecteurs généraux* et *particuliers* (1791) et des *administrateurs généraux* (1797); le service fut, en outre, mis dans les attributions du ministère de la guerre (1800).

La cinquième période (1816-1865) marque la domination de l'artillerie sur le service des poudres et salpêtres. De cette époque date la création des *inspecteurs d'artillerie* (1816), d'un officier d'artillerie *directeur général* (1817 et 1839), de *commissaires aux poudres et salpêtres* (1818 et 1839), et d'un officier d'artillerie *inspecteur des poudreries et raffineries* (1829).

Pendant la sixième période (1865-1874), le service des poudres et salpêtres, réuni à la direction générale des tabacs, constitue, au ministère des finances, la *direction générale des manufactures de l'État*.

Enfin, la septième période (1874) le ramène au ministère de la guerre, où il forme, depuis 1876, sous la direction d'un corps d'*ingénieurs des poudres et salpêtres*, un service spécial et indépendant.

§ I.

Origines et première organisation du service des poudres et salpêtres (1338-1547).

L'origine de l'emploi de la poudre, en France, comme moyen de guerre, remonte à l'année 1338.

Il est à remarquer que l'Italie paraît avoir devancé, dans cette voie, toutes les autres nations chrétiennes, si l'on s'en rapporte aux témoignages de Libri (1) et de Bartolomeo de Ferrare (2).

Le premier document français où se trouve mentionné l'usage de la poudre est une quittance du 2 juillet 1338, délivrée par

(1) « J'ai eu dernièrement connaissance d'une *provvisione* de la République de Florence, datée du 11 février 1326, par laquelle on accorde aux *prieurs*, au *gonfalonier* et aux douze bons hommes la faculté de nommer deux officiers, chargés de faire faire des *boulets de fer* et des canons de métal pour la défense des châteaux et des villages appartenant à la République de Florence. »

[LIBRI, *Histoire des sciences mathématiques en Italie*, t. IV, p. 487.]

(2) D'après cet auteur, les assiégeants de Cividale (1331) se servirent de *vasi*, machines de guerre que Tortel croit avoir été le type des bombardes à poudre.

Digitized by Google

Guillaume du Moulin à Thomas Fouques (1), à l'occasion des préparatifs faits contre l'Angleterre dans les ports de Harfleur et de l'Heure : c'était au début de la lutte engagée entre Édouard III et Philippe de Valois. — L'année suivante, un état présenté à la cour des comptes par le trésorier des guerres, Barthélemi du Drach, fait dépense de l'argent donné « à Henri de Fumechon pour avoir poudres et autres choses nécessaires aux canons qui étoient devant Puy-Guillem », en Périgord (mars-avril 1339) (2). Vers la fin de septembre de la même année, on fit faire, pour la défense de Cambrai assiégé par Édouard III, 10 canons, 5 de fer et 5 de métal, et fabriquer la poudre nécessaire : deux titres originaux en font foi, ainsi que le compte des sommes payées par Étienne de la Baume, dit le Gallois, maître des arbalétriers (3). — En 1342 (4), d'après un compte des baillis de Saint-Omer relatif au château de Rihoult en Artois, Guillaume de Dieppe fournit pour les canons 2 livres et demie de soufre vif, qui coûtèrent 18 sols, et 2 livres et demie et demi-quart de salpêtre à 30 sols la livre. — En 1345, suivant un extrait des registres consulaires de la ville de Cahors, rapporté par l'abbé de Foulhiac dans ses *Chroniques manuscrites de Quercy,* « on fit de la nouvelle artillerie à Caors, avec de la poudre à canon dont on marque la dépense par *canos fondus, balestas flageladas, carbo per assaiar los canos,* etc. »

(1) « Sachent tous que je, Guillaume du Moulin de Bouloigne, ai eu et reçu de Thomas Fouques, garde du clos des galées du Roy nostre sire à Rouen, un pot de fer à traire garros à feu, quarante-huit garros ferrés et empanés en deux cassez, une livre de salpêtre et demie livre de soufre vif pour fare poudre pour traire lesdits garros; desquelles choses je me tien à bien paié et les promets à rendre au Roy nostre sire ou à son commandement toute fois que mestier sera. Donné à Leure, sous mon scel, le IIe jour de juillet l'an mil CCC trente et huit. » (Acte original déposé au cabinet des titres de la Bibliothèque nationale.)

(2) Du Cange, qui a découvert l'existence de ce compte, le rapporte à tort à l'année 1338; il écrit, en outre, Puy-Guillaume au lieu de Puy-Guillem, ce qui a pu faire croire que le château dont il s'agit se trouvait en Auvergne.

(3) Un chevalier, Hugues, seigneur de Cardaillac et de Bioule, présida à la confection des canons, et un écuyer, Étienne Morel, fut chargé de la composition de la poudre. Chaque canon coûta 2 livres 10 sols 3 deniers, d'après le prix de la livre de fer à la même époque; de la Teysonnière calcule que chaque canon de fer ne pesait pas plus de 46 livres.

(4) Froissart affirme que, dès 1340, les habitants du Quesnoy firent usage de canons et de bombardes contre les Français; mais son témoignage ne paraît devoir être accepté qu'avec réserve, ce chroniqueur étant né très peu d'années auparavant, en 1333.

Digitized by Google

La production s'éleva jusqu'à 60 livres, et l'on fabriqua 24 canons de fer; on fit aussi une machine de guerre dite l'*espingala*. C'est également de cette année que date l'emploi de projectiles non incendiaires. Un acte publié par dom Vaissete nous apprend que Raimond Larchier, artilleur du roi à Toulouse, reçut, le 29 avril 1345, pour la garnison du château de Sompui, 2 canons de fer, 8 livres de poudre et 200 plombées.

Mais ce sont les Anglais qui, les premiers, ont employé les canons en rase campagne ou en bataille rangée (Crécy, 26 août 1346). D'après Villani, leurs bombardes lançaient de petites balles de fer avec feu pour effrayer et disperser les chevaux des Français, et elles menaient si grand bruit et tremblement qu'il semblait que Dieu tonnât. — En septembre 1346, la ville de Tournay fit essayer un canon appelé *connoille*, qui lançait un carreau armé d'une pièce de plomb du poids de 2 livres. — En 1348, Brives-la-Gaillarde possédait 5 canons pour sa défense. — En 1349, Agen en avait placé à ses principales portes et dans ses quartiers les plus exposés. — A partir de cette époque, les mentions relatives à la poudre et aux canons deviennent de plus en plus fréquentes chez les historiens et les chroniqueurs; nous croyons inutile de les relever.

Au XIV^e^ siècle, l'*artillerie* ou l'ensemble de toutes les « machines de guerre » dépendait du *grand maître des arbalétriers*, le premier officier militaire après les deux maréchaux de France (1); c'était alors Pierre de Galart (1310-1339). Le *souverain maître des artilleries de France* et le *général maître des artilleries du roi*, institués vers la fin du siècle, étaient subordonnés au grand maître des arbalétriers. En 1420, ce dernier office fut démembré, et le *maître général de l'artillerie* eut dans ses attributions le service des armes à feu et celui des poudres

(1) On lit dans Chassignet (*Essai historique sur les institutions militaires en France*, p. 182) : « En 1354, le gouvernement s'était aussi emparé du monopole de la fabrication de la poudre et avait confié la direction de ce service à un *capitaine-général des poudres* qui achetait, sur les fonds à lui remis par le trésor public, les matières premières, les faisait mettre en œuvre par des ouvriers sous sa direction et surveillait les gardes-magasins auxquels les produits étaient confiés. » Mais l'auteur n'indique pas la source de ce renseignement.

Digitized by Google

et salpêtres. En 1543, ce titre fut remplacé par celui de *grand maître de l'artillerie*. — Au-dessous du grand-maître des arbalétriers ou du maître général de l'artillerie, ordonnateur unique des dépenses relatives aux poudres et armes à feu, se trouvaient les *maîtres d'artillerie,* les *fabricans d'artillerie,* les *préposés aux artilleries* et les *gardes et visiteurs de l'artillerie*.

Dès les premiers temps, le droit royal de recherche, amas et fabrication du salpêtre fut délégué à des particuliers, dits *salpêtriers,* qui avaient le droit de requérir l'ouverture ou l'entrée des maisons, cavernes, celliers, etc.; le salpêtre brut était reçu et acheté, dans des arsenaux déterminés, par des officiers d'artillerie, et la dépense en était portée dans les comptes des trésoriers généraux de l'artillerie. Quant au raffinage du salpêtre et à la fabrication des poudres, ils s'effectuaient : 1° par des officiers d'artillerie, dans les magasins et arsenaux du roi (1); 2° par des particuliers, dits *faiseurs et compositeurs de poudre,* autorisés par privilèges spéciaux à construire des moulins, et astreints à porter tous leurs produits dans les magasins et arsenaux désignés d'avance, où se faisaient la réception et l'achat, comme pour le salpêtre. Enfin, les officiers d'artillerie étaient également chargés de la vente de ces matières, à des prix fixés par le roi; le salpêtre ne pouvait être vendu qu'aux maîtres des monnaies, orfèvres et affineurs.

Tel fut, pendant deux siècles environ (1338-1547), le mode de fonctionnement du service.

D'abord restreinte, la fabrication des poudres ne tarda pas à prendre une importance croissante, au fur et à mesure du développement de l'artillerie elle-même (canon, arquebuse, croc, pétrinal, mousquet, etc.). Mais, en même temps, se multipliaient les fraudes et contraventions, surtout en ce qui concerne la vente du salpêtre, et François Ier dut, par ordonnance rendue à Fontainebleau (28 novembre 1540), « faire défense à toutes personnes généralement quelconques, sur peine de la hart et confiscation de corps et biens, qu'ils n'eussent à vendre, trafiquer ni marchander les salpêtres cueillis et amassés dans son royaume, pays et seigneuries de son obéissance, à aucuns étrangers, ni autres. »

(1) Paris, Lyon, Tours, Troyes.

Digitized by Google

§ II.

Participation des villes et communautés à la fourniture de salpêtre (1547-1628).

Quatre édits consécutifs eurent pour but d'assurer et de réglementer l'approvisionnement du salpêtre, en imposant aux villes et communautés du royaume une partie de la fourniture annuelle (1547-1628).

Par l'édit de Henri II (1547), les villes et communautés furent « tenues de fournir, par chacun an, dans des magasins dénommés, la quantité de 800 milliers de salpêtre », les salpêtriers devant en fournir pareille quantité.

De ce nouvel état de choses résulta une certaine confusion parmi les salpêtriers; des résistances particulières se produisirent. L'ordonnance de Charles IX, rendue à Blois (mars 1572), porta l'annulation de toutes les commissions de salpêtriers, à la charge par eux de les faire renouveler, s'il y avait lieu, dans l'espace de trois mois; mais il fut statué : 1° que les salpêtres, bois, cendres, etc., ne seraient assujettis à aucun droit quelconque; 2° que les salpêtriers seraient affranchis des droits d'aides et impositions, et déchargés des tailles jusqu'à 50 sols; 3° qu'ils étaient placés sous la protection et la sauvegarde spéciales du roi.

On reconnut bientôt qu'il y aurait avantage à recevoir le salpêtre dans un état de plus grande pureté; l'édit de Henri III (février 1582) prescrivit aux villes et communautés de « fournir, par chacun an et par quartier, pareil nombre et quantité de 800 milliers de salpêtre de deux cuites, bon et pur, porté et voituré », lequel serait payé à raison de 4 sols la livre; le nombre des magasins où il devait être livré fut porté à 30 (1); les prix de vente furent fixés à 10 sols la livre pour le salpêtre, à 13 sols pour la poudre et à 10 sols pour la grosse graine.

De nouveaux abus durent être réprimés par l'ordonnance de

(1) Paris; Troyes, Reims, Metz; Orléans, Le Mans, Nevers; Amiens, Calais; Rouen, Caen; Bordeaux, La Rochelle, Poitiers, Périgueux, Limoges; Nantes, Brest, Saint-Malo; Toulouse, Narbonne, Le Puy; Grenoble, Marseille, Arles; Lyon, Riom, Dijon, Auxerre; Carmagnoles.

Digitized by Google

Henri IV (décembre 1601), qui prononça la révocation de toutes les commissions des salpêtriers, à l'exception de celles qui auraient été délivrées par le marquis de Rosny, alors grand maître de l'artillerie de France. De plus, il était établi dans chaque province, outre l'arsenal ordinaire, trois nouveaux lieux de vente des poudres à canon, et les prix en étaient fixés à 14 sols la livre d'amorce, à 12 sols la menue grenée et à 10 sols la grosse grenée.

En même temps se complétait l'organisation du personnel des poudres et salpêtres. Par l'édit de février 1582, il fut établi, dans chacun des 30 magasins, un *commissaire,* un *contrôleur,* un *garde sur les salpêtres et poudres* et deux *sergents,* qui devaient jouir des mêmes honneurs et privilèges que les autres officiers de l'artillerie. Les commissaires, contrôleurs et gardes avaient inspection sur tout ce qui concernait les salpêtres et poudres : les premiers ordonnaient des deniers pour le fait de la fabrication des poudres, des constructions, réparations, etc.; les seconds assistaient aux marchés, tenaient registre des recettes et dépenses, etc.; enfin, les gardes recevaient, chaque semaine, des commissaires et contrôleurs, un état de la vente des poudres et des deniers en provenant, à verser ès-mains des trésoriers de l'artillerie.

§ III.

Système des marchés (1628-1775).

C'est vers le milieu du règne de Louis XIII que commença le système d'approvisionnement par marchés, qui fut poursuivi, sauf une interruption de 25 années (1640-1665), pendant près d'un siècle et demi (1628-1775).

Dès le début de cette période, un nouvel édit (mai 1634) achevait l'organisation de 1582. Le grand maître de l'artillerie ne dut plus avoir, à l'avenir, aucune intendance ou pouvoir sur le service des poudres et salpêtres. Le roi créa et érigea en titres d'offices formés : 1° un conseiller en son conseil d'État, *surintendant général des poudres et salpêtres de France;* 2° un conseiller *commissaire général de l'artillerie, poudres et salpêtres de France;* 3° en chacun de 18 départements désignés dans l'édit, trois conseillers *commissaires provinciaux de l'ar-*

Digitized by Google

tillerie, poudres et salpêtres, anciens, alternatifs et triennaux, et deux conseillers *contrôleurs provinciaux de l'artillerie* (plus un déjà créé). Tous les pourvus desdits offices étaient assimilés aux officiers de l'artillerie; une somme de 80000 livres était réservée, par chacun an, dans les états des finances, pour les gages attribués aux nouveaux officiers; en outre, une indemnité était accordée, sur le prix de la vente des poudres, au surintendant général, au commissaire général et aux commissaires provinciaux.

Louis XIII, pour des motifs inconnus, renonça au salpêtre de deux cuites des villes et communautés, et conclut, avec Nicolas Japin (9 août 1628), un marché pour une quantité de 200 milliers de salpêtre, à livrer au magasin et arsenal de Paris, chaque année et pendant 9 ans, au prix de 7 sols la livre, qui fut bientôt porté à 8 sols. Japin ayant cru pouvoir s'attribuer l'intendance et la charge générale des salpêtres et poudres à canon, et la quantité de salpêtre stipulée par le bail étant d'ailleurs insuffisante, le roi se trouva forcé de conclure à l'étranger des marchés extraordinaires, dans des conditions particulièrement onéreuses. Aussi le bail passé à Japin fut-il cassé et révoqué par l'édit de mai 1634. Le même édit prononça l'annulation de toutes les commissions délivrées jusqu'alors, pour la recherche et amas des salpêtres et confection des poudres, lesdites commissions ne devant plus être expédiées que par le surintendant général des poudres et salpêtres. En outre, la fourniture de salpêtre par les villes et communautés fut rétablie, mais restreinte à 250 milliers par an et convertie en une prestation en argent, à raison de 10 sols par livre de salpêtre, laquelle serait versée entre les mains de l'adjudicataire de la fourniture totale; ce dernier, placé sous l'autorité et la direction exclusives des officiers nouvellement créés, devrait justifier d'une réserve de salpêtre en quantité stipulée par son bail et toujours disponible. Enfin, le prix du salpêtre à vendre aux maîtres des monnaies, orfèvres et affineurs, était fixé à 11 sols la livre.

Bientôt Louis XIII accueillit les propositions de François Sabathier, qui s'engageait à extraire tout le salpêtre nécessaire des voiries, boues et vidanges des basses-fosses de la ville de Paris, et par une ordonnance de 1635 fit défense à tous salpê-

Digitized by Google

triers et poudriers « de faire dorénavant travailler à la confection des salpêtres et poudres, au moyen de quoi tous les ustensiles, engins et moulins desdits salpêtriers et poudriers seraient rompus et démolis ». Dès 1636, les promesses de Sabathier furent reconnues illusoires, et l'ordonnance de 1635 révoquée; il fut enjoint aux salpêtriers et poudriers de faire incessamment le plus qu'il leur serait possible et de rétablir, à cet effet, leurs moulins et engins nécessaires. La prompte exécution de cette mesure se heurta à des difficultés pécuniaires, et de nouveaux achats à l'étranger devinrent indispensables. Par une ordonnance rendue à Saint-Germain en Laye (octobre 1640), le roi dut faire « injonction expresse aux commissaires, salpêtriers et poudriers ordinaires d'exécuter leurs commissions et satisfaire aux fournitures auxquelles ils étaient obligés, à peine d'interdiction de leurs charges et de punition corporelle »; mais, en même temps, il fut statué que « désormais, au commencement de chaque année, il serait fait un fonds suffisant à distribuer par le commissaire général pour l'amas, recueil et achat desdites poudres et salpêtres ». Enfin, de nombreux magasins furent créés pour la vente des poudres et salpêtres par des préposés assermentés.

Le service paraît avoir fonctionné régulièrement, comme par le passé, pendant une période de 25 ans (1640-1665).

Le 31 décembre 1664, Louis XIV conclut avec François Berthelot, que La Bruyère cite, dans ses *Caractères,* sous le nom de « Berthelot des poudres », un marché pour 9 années (1665-1674), dans lequel étaient stipulées : 1° une fourniture ordinaire annuelle de 200 milliers de poudre ou de salpêtre de trois cuites au prix de 9 sols la livre; 2° une fourniture extraordinaire de 200 milliers de poudre, au même prix. Berthelot avait la faculté d'établir tous les ateliers nécessaires, et était tenu d'entretenir et raccommoder la poudre pendant la durée de son bail. Il fut pourvu d'une commission de commissaire général de l'artillerie, poudres et salpêtres de France (février 1665), et autorisé, par arrêt du conseil des finances (début de 1666), à installer des ateliers à salpêtre en tous lieux et endroits convenables. La poudre devait être livrée « bonne, loyale et marchande, menue et grosse grenée, encaquée et enchapée, propre pour mousquet et canon ». En 1669, un nouveau bail, conclu également pour 9 années

Digitized by Google

(1670-1679), stipulait que les poudres seraient enchapées en barils de 200 livres, et le salpêtre livré en tonnes de 500; Berthelot était tenu de mettre en bon état et d'entretenir toutes les poudres, barils et chapes alors existants, de faire aux magasins les réparations courantes. Comme compensation, le prix des poudres de la fourniture ordinaire était porté à 11 sols la livre; les poudres de vente devaient être distribuées « à prix raisonnable ».

Les conditions de ces derniers marchés ne tardèrent pas à être profondément modifiées : une déclaration, donnée à Saint-Germain en Laye (30 novembre 1677), mentionne divers traités, sans date, en vertu desquels Berthelot s'engageait à fournir gratuitement 800 milliers de poudre par chacun an, pendant 6 années, moyennant le privilège de la vente exclusive des poudres au public, à raison de 24 sols la livre pour la poudre à giboyer, de 12 sols pour la poudre à mousquet, et de 9 sols pour la poudre destinée aux vaisseaux et bâtiments de mer; ces poudres devaient être vendues en barils ou paquets marqués de l'empreinte des armes du roi. Par un arrêt du conseil (15 novembre 1678), Berthelot fut nommé *fermier général de la fabrique et vente des poudres et salpêtres;* son dernier traité expira au mois de décembre 1684.

Après trois remises consécutives de l'adjudication (février-avril 1684), la ferme générale des poudres fut concédée à Claude Durié pour 9 années (1685-1694); la fourniture annuelle et gratuite s'élevait à 800 milliers de poudre à canon et à mousquet ou de salpêtre de trois cuites; le surplus, s'il y avait lieu, serait payé à raison de 7 sols la livre; les sels de salpêtre devaient être rachetés, par les fermiers des gabelles, à raison de 2 sols la livre; enfin, les prix précédemment fixés pour les poudres de vente ne devraient pas être dépassés. Mais, le roi ayant, par deux ordonnances successives (4 avril et 18 septembre 1686), prescrit l'adoption d'un type unique de poudres à mousquet et à canon et d'un modèle réglementaire de mortier pour les épreuves, Durié demanda et obtint l'annulation de son marché (1687).

Berthelot, en vertu d'un nouveau bail, conclu pour 9 années (1688-1697), dut fournir, par an, 600 milliers de poudre « menue, grenée d'un seul grain, propre au canon et au mousquet, composée au moins des trois quarts effectifs de salpêtre »; la fourniture

Digitized by Google

extraordinaire, qui pouvait atteindre 400 milliers, serait payée 7 sols la livre; il devait mettre les établissements en état de fabriquer 1500 milliers de poudre par an; il serait libre de faire sortir, par chacun an, 200 milliers de salpêtre du crû du royaume et d'en faire entrer pareille quantité du crû des Indes; enfin, le prix des poudres de vente ne pourrait dépasser 20 sols la livre (15 sols dans les places nouvellement conquises) pour la poudre à giboyer, et 9 sols pour la poudre destinée aux vaisseaux. Bientôt, Berthelot résolut de se faire remplacer par son fils, et son bail fut cassé (1690).

Le nouvel adjudicataire fut François de Grandchamps et eut pour caution Berthelot de Pléneuf, qui reçut les commissions d'intendant général des poudres de la marine et de commissaire général des poudres et salpêtres (26 août 1690). Le marché, conclu pour 9 années (1691-1700), comportait la fourniture annuelle de 2 millions 200 milliers de poudre, aux conditions suivantes : 1 million à 5 sols la livre, 500 milliers à 9 sols, 500 milliers à 10 sols, et les 200 milliers restants à 11 sols, le surplus devant être payé à raison de 12 sols la livre; la poudre à giboyer devait être fournie aux marchands et revendeurs au prix de 20 sols la livre, et ceux-ci ne pourraient la débiter à plus de 24 sols.

A l'expiration du bail de Grandchamps, le roi jugea qu'il y aurait intérêt à joindre à la ferme générale des poudres et salpêtres la fabrique et la vente exclusives du plomb en balles et dragées; c'est dans ce sens que fut rédigé le bail passé, pour 9 années (1700-1709), avec Jacques Deshayes, sous la caution de Berthelot de Pléneuf (10 novembre 1699). Mais ce marché, peu avantageux pour l'État, fut cassé. — D'après le nouveau bail (1700-1709), passé avec Étienne Chaplet sous la caution de Moriset de Lacour (22 décembre 1699), la fourniture de poudre s'élevait à 1500 milliers, dont 500 à 4 sols la livre, 500 à 5 sols, 500 à 9 sols, et le surplus à 10 sols; le prix de la poudre à giboyer était porté à 22 sols la livre pour les marchands et revendeurs, qui ne pourraient la débiter à plus de 26 sols; on assurait à l'adjudicataire la fabrique exclusive du plomb en balles ou dragées, à l'exception des balles employées pour le service des armées et des vaisseaux et pour les armateurs; ces balles seraient vendues à raison de 5 sols la livre de la dernière main; en retour, Chaplet

Digitized by Google

devrait verser au trésor royal une somme de 750 000 livres une fois payée, et, par chaque année, une somme de 12000 livres. Un arrêt du conseil (12 avril 1701) l'autorisa à fournir aux armateurs, négociants et compagnies de commerce, des poudres à canon et à mousquet, à des prix convenus entre eux et le fermier; un nouvel arrêt (7 mai 1701) lui permit d'exploiter, sous certaines conditions, les bois de bourdaine contenus dans les forêts de l'État, des communautés et des particuliers. Mais bientôt de vives réclamations s'élevèrent contre le monopole de la fabrique et de la vente du plomb en balles; par une déclaration donnée à Marly (8 août 1702), le roi révoqua cette mesure, et, pour indemniser le fermier général du tort qui lui était fait, l'autorisa à vendre la poudre à giboyer à raison de 28 sols la livre dans ses magasins généraux, et à raison de 30 sols dans les bureaux particuliers, par ses commis et préposés; le prix de vente était fixé à 27 sols pour les marchands et débitants commissionnés, qui ne devaient pas la revendre plus de 30 sols la livre. Toutefois, les conditions du bail de Chaplet ne tardèrent pas à paraître trop onéreuses pour lui : par résultat du conseil d'État (18 octobre 1704), il fut fait bail, au fermier général des poudres, de la ferme générale des recouvrements de diverses parties de finances. Cette mesure fut, en raison de la confusion qui s'ensuivit, annulée et cassée par arrêt du 4 août 1706, et la ferme générale des poudres fut donnée, par bail nouveau, à Philippe Paulmier (14 septembre 1706).

Vers cette époque, d'importantes modifications furent introduites dans le personnel des poudres et salpêtres. Par un édit rendu à Versailles (août 1703), le roi supprima les offices de surintendant général des poudres et salpêtres (pour les fonctions en être réunies à l'état de grand maître de l'artillerie), de commissaires, gardes et sergents, institués par les édits de 1582 et de 1634; en même temps, il créa un conseiller du roi, *commissaire général des poudres et salpêtres,* chargé d'examiner la qualité des poudres et salpêtres et de tenir la main à la bonne exécution desdites matières, et cinq *commissaires inspecteurs des poudres et magasins,* chargés de visiter les poudres dans les magasins et d'assister à toutes les épreuves. Tous ces offices devaient être acquis.

Digitized by Google

D'après son bail (1707-1716), Philippe Paulmier dut acquérir, sous le nom de sa caution Berthelot de Saint-Laurent, l'office de commissaire général des poudres et salpêtres. Il s'engageait à fournir, par chacun an, 2400 milliers de poudre, dont 1 million à 7 sols la livre, 500 milliers à 10 sols, 900 milliers à 12 sols, le surplus restant à 12 sols; les poudres et barillages seraient radoubés, moyennant 3 livres pour chaque cent de poudres resséchées et 5 livres pour chaque cent de poudres rebattues; enfin, la poudre à giboyer devait être cédée aux marchands à raison de 24 sols la livre et revendue jusqu'à 28 sols. Deux arrêts furent rendus pendant la durée du bail de Paulmier : le premier (13 novembre 1708) disposa que les poudres provenant des prises, ou autres appartenant aux armateurs ou aux particuliers, seraient déposées dans les magasins du fermier ou dans ceux du roi, et ne pourraient être l'objet d'aucun commerce pour la consommation intérieure du royaume sans le consentement du fermier général; le second (7 mai 1709) défendit à tous vanniers et faiseurs de paniers d'employer du bois de bourdaine. — Le bail passé à Jean Milet (16-17 décembre 1715) fut cassé, à la suite de contestations avec Paulmier, et reporté sur Antoine de Laporte, cautionné par Berthollet de Belloy (1716-1725). De Laporte s'engageait à fournir, par chacun an, dans les magasins du roi, 1500 milliers de poudre ou de salpêtre raffiné à raison de 6 sols la livre, et le surplus à 9 sols 6 deniers; à radouber les poudres existantes, moyennant 100 sols du cent pesant des poudres resséchées et 300 sols du cent des poudres rebattues; enfin, à rétablir les moulins de Brest, de Maronne et de Lyon, moyennant une indemnité de 8000 livres. Il lui était alloué, par année, en forme d'abonnement, une somme de 18000 livres. Un arrêt du conseil (9 juillet 1718) confirma les ordonnances, règlements et arrêts concernant la fabrication des salpêtres et poudres, ainsi que les privilèges et exemptions accordés aux salpêtriers et poudriers. — Le bail suivant fut passé (29 août-19 septembre 1724) à François-Pierre Ducayet, sous la caution de Le Marchant (1725-1734). Ducayet devait porter la fabrique du salpêtre jusqu'à 2 millions de livres et plus, par année, avec faculté d'en faire venir des pays étrangers; ce salpêtre, brut, lui serait payé 10 sols la livre. Il s'engageait, en outre, à une fourniture annuelle de 1500 milliers de

Digitized by Google

poudre, à raison de 10 sols la livre pour 900 milliers et 16 sols pour les 600 milliers restants, pendant les 3 premières années, et, pendant les 6 dernières années, à raison de 10 sols pour 1 million de livres et de 16 sols pour les 500 milliers restants; les conditions du radoub des poudres étaient les mêmes que pour de Laporte; enfin, il lui était alloué, par forme d'abonnement, une somme annuelle de 27000 livres. Mais un arrêt du 14 octobre 1727 réduisit, pour les 6 dernières années, à 7 et à 12 sols la livre les prix du premier million de poudre et des 500 milliers restants; en outre, Ducayet fut chargé de rebattre et ressécher à ses frais, 800 milliers de poudre. A la suite de ces modifications, le bail ne tarda pas à être résilié (1729).

Le successeur de Ducayet fut Jean Maillot, cautionné par Vivant-Micault du Bessan (12 avril 1729). En vertu de son bail (1er mai 1729-1er mai 1738), il était tenu de fournir annuellement, dans les magasins du roi, 1500 milliers de poudre, dont 1 million à 5 sols la livre et les 500 milliers restants à 10 sols; il devait également rebattre et ressécher à ses frais, chaque année, 800 milliers de poudre. Afin de rétablir les dates habituelles d'échéance, ce bail fut annulé (11 décembre 1736), pour n'avoir plus son exécution que jusqu'au 31 décembre 1737, et le roi accepta les offres de Charles Primard, qui avait la même caution que Maillot (18 décembre 1736). — Le bail de ce dernier (1738-1747) stipulait une fourniture annuelle de 500 milliers de poudre, à 5 sols la livre, en temps de paix, laquelle, en cas de guerre, pourrait s'élever à 1500, dont 1 million à 5 sols et 500 milliers à 10 sols la livre; Primard s'engageait à radouber à ses frais 800 milliers de poudre par an, à la condition de jouir, comme ses prédécesseurs, de la vente exclusive des poudres et salpêtres, et de recevoir au titre de grosses réparations, une indemnité annuelle de 1033 livres 6 sols 8 deniers; il était autorisé à vendre, mais seulement dans les magasins principaux, de la poudre de guerre au prix de 20 sols; il pouvait également céder, de gré à gré, de la poudre de guerre aux armateurs français, aux négociants et compagnies de commerce du royaume; enfin, il était libre d'augmenter ou de diminuer la fabrique du salpêtre, suivant ses besoins, et le salpêtre livré par les salpêtriers ne pourrait être payé au delà de 7 sols la livre. Un arrêt ultérieur (26 mai 1739)

Digitized by Google

détermina les cas de dédommagements à attribuer pour perte de poudres et salpêtres.

Primard fut remplacé par Jacques Mahieu, toujours cautionné par Vivant-Micault du Bessan (1er mars-26 avril 1746). Par son marché (1747-1756), Mahieu s'obligeait à rétablir et augmenter la fabrique des salpêtres et à en faire venir de l'étranger, de manière à fournir jusqu'à 2 millions de livres de poudre pendant la guerre et 1500 milliers en temps de paix; il obtint toutefois de n'être tenu de livrer, pendant les années 1747 et 1748, que la quantité de 1500 milliers de poudre; le prix en était fixé, pendant la guerre, à 8 sols la livre pour les 500 premiers milliers et à 12 sols pour le surplus, et, pendant la paix, à 5 et 10 sols la livre; enfin, une indemnité annuelle de 27000 livres était accordée au fermier général. Un arrêt du conseil d'État (13 février 1748) statua que les enfants des salpêtriers, leurs ouvriers et domestiques, seraient exempts du tirage au sort et de toute espèce de corvée; le nombre des salpêtriers du royaume pouvait être porté jusqu'à 800; et la quantité de salpêtre que chacun d'eux devait livrer par année serait de 100 livres au minimum.

L'adjudicataire Mahieu ayant été empêché de vaquer à ses fonctions, Louis Le Tache lui fut subrogé par arrêt du conseil (7 décembre 1751), et, un an avant l'expiration de ce bail, le roi conclut (3-17 décembre 1754), aux mêmes conditions, un nouveau marché avec Jacques Meusnier, sous la caution de Vivant-Micault d'Harvelay (1756-1765). Par un arrêt du conseil (6 juillet 1756), le prix de la poudre à giboyer, qui était alors fixé à 27 et 28 sols la livre pour les débitants et pour les particuliers dans les magasins principaux, fut porté à 29 et 30 sols, et le produit de cette augmentation dut être affecté à la reconstruction de la raffinerie de Paris et à l'exploitation du marché général des salpêtres et poudres; Le Carpentier avait été nommé architecte (2 décembre 1755), et les devis furent approuvés par un nouvel arrêt (16 août 1757). En outre, le roi ordonna (5 février 1760) que Meusnier serait remboursé par le trésorier-général de l'artillerie, pour chacune des années 1756 et 1757, des sommes de 15223 livres et de 23675 livres 16 sols, qui correspondaient à diverses augmentations accordées pour le prix du salpêtre livré aux différentes raffineries. Enfin, un arrêt du conseil (21 no-

Digitized by Google

vembre 1761) statua que les poudres et salpêtres amenés dans les ports du royaume, provenant d'achat, d'échanges ou de prises, seraient mis à la disposition du roi, qui les prendrait pour son compte ou obligerait le fermier général à s'en charger, à des prix déterminés par l'arrêt.

A Meusnier succéda Remi Bartholomé, cautionné par Vivant-Micault de Courbeton (24 juillet-21 août 1764). Le nouveau bail (1765-1774) stipulait la fourniture annuelle de 1 million de poudre ou de 750 milliers de salpêtre raffiné, à raison de 8 sols la livre, sauf à ajouter 2 sols par livre de poudre fabriquée avec ledit salpêtre; l'adjudicataire était, en outre, tenu d'avancer, au besoin, 500 milliers de poudre sur sa fourniture totale, et faisait abandon d'une somme de 40000 livres par an sur les augmentations de bâtiments qu'il aurait faites, hors le cas de l'établissement d'une poudrerie en Anjou; en retour, le roi consentit à réduire d'un cinquième le montant des intérêts attribués aux associés à la ferme générale des poudres. C'est de cette époque que date la publication d'une instruction détaillée, signée à Fontainebleau (25 octobre 1769), portant règlement sur le mode d'épreuve et de réception des poudres de guerre; cette instruction prescrivait l'emploi de procès-verbaux d'épreuve, augmentait la portée des poudres de guerre, et spécifiait que les poudres livrées par le fermier pour l'artillerie de terre seraient renfermées dans des barils et chapes de 200 livres, sauf le cas de demandes spéciales. Un arrêt du conseil (4 mars 1772) fixa le prix du salpêtre à 7 sols pour les salpêtres de Paris, et à 4 sols pour ceux de la Touraine et de l'Anjou, par chaque livre de sel pur qui serait constatée, d'après un procédé spécial, dans les matières par eux livrées; le taux de sel pur devait être de 14 pour 100 pour les premiers et de 18 pour 100 pour les seconds. Enfin, par un arrêt de la même année (25 mai 1772), le prix de la poudre à giboyer, qui était alors vendue 29 et 30 sols la livre et revendue 32 sols, fut augmenté d'un sol par livre, avec cette réserve que le produit de cette augmentation recevrait une affectation ultérieurement indiquée.

Le dernier bail fut passé pour 6 années (1774-1780) avec Alexis Demont, sous la caution de Vivant-Micault de Courbeton (2 mars 1773). Il stipulait une fourniture annuelle de 1 million

Digitized by Google

de poudre ou de 750 milliers de salpêtre raffiné, au prix de 6 sols la livre. Mais, à peine arrivé au pouvoir, Turgot, contrôleur général des finances, proposa au roi la résiliation du bail de Demont, sauf indemnité, et la création d'une régie spéciale des poudres et salpêtres pour le compte du gouvernement (28 mai 1775).

Le système de l'adjudication de la ferme générale des poudres et salpêtres était, en effet, bien loin d'avoir produit les résultats qu'en avaient attendus Louis XIII et Louis XIV. En premier lieu, le fermier devait nécessairement négliger la récolte du salpêtre dans le royaume tant qu'il pouvait en importer à meilleur compte, en sorte que la France s'était trouvée, à diverses époques, à la merci des Hollandais, de la compagnie des Indes et des Anglais. D'un autre côté, les salpêtriers, peu rémunérés, étaient portés à abuser de leurs privilèges : la recherche du salpêtre était ainsi devenue l'un des impôts les plus impopulaires. Il résultait, enfin, des clauses et conditions de la plupart des marchés, que le prix du bail consistait uniquement dans la perte que le fermier général pouvait faire sur ses fournitures de poudres de guerre, perte qui variait de 2 à 6 sols par livre de poudre fournie; or, quelle que fût la quantité de poudre demandée par le roi, il n'était rien changé à la jouissance du droit exclusif de la vente des poudres et salpêtres. On conçoit que, dans un pareil état de choses, l'exploitation de la ferme des poudres et salpêtres n'ait pas tardé à se transformer, au grand détriment du service, en une spéculation plus ou moins dissimulée.

§ IV.

Régie et agences des poudres et salpêtres (1775-1816).

La première organisation de la régie des poudres et salpêtres fut déterminée par deux arrêts du conseil d'État (30 mai et 24 juin 1775). L'arrêt du 30 mai chargeait Jean-Baptiste Bergaud de faire, sous la direction de ses cautions, la recherche et fabrique des salpêtres et poudres, et de tenir, au profit du roi, la vente et le débit exclusifs desdites matières (1er juillet 1775-31 décembre 1779); le prix du salpêtre brut fut fixé à 8 sols la livre, pourvu que le déchet n'excédât pas 30 pour 100; la fouille dans les maisons, celliers, etc., ne serait plus faite que de gré à gré, à

Digitized by Google

dater du 1er janvier 1778; enfin, les dispositions relatives aux fournitures, au radoub des poudres, au payement des sels et aux prix des poudres de vente étaient conformes à celles du dernier bail. — Par arrêt du 24 juin 1775, le roi nomma *régisseurs* les sieurs Le Faucheux, Clouet, Lavoisier et Barbault de Glatigny, cautions de Bergaud, qui durent constituer les fonds d'avance nécessaires à l'exploitation de la régie et fixés d'avance à 4 000 000fr; il leur était alloué des droits de présence et des droits de remises sur la vente du salpêtre et de la poudre fine. Les régisseurs avaient le pouvoir de nommer à tous les emplois du service; et l'autorisation de vendre aux armateurs et négociants les poudres de guerre et de traite, à des prix convenus de gré à gré; l'état des recettes et dépenses devait être soumis, tous les mois, au contrôleur général des finances et à l'intendant d'Ormesson, et, tous les ans, au conseil du roi. — Un nouvel arrêt (29 juin 1776) assujettit tous les commissaires de la régie et autres comptables des matières et deniers à la formalité du cautionnement.

Deux autres arrêts du conseil (8 août 1777 et 24 janvier 1778) eurent pour but de restreindre et d'améliorer l'exercice du droit de fouille. A dater du 1er janvier 1778, les salpêtriers ne pouvaient plus faire la recherche des terres salpêtrées dans les caves, celliers et lieux d'habitation personnelle; toute communauté acquérait l'exemption entière du droit de fouille en construisant à ses frais une nitrière artificielle, reçue et approuvée par un inspecteur des poudres; le salpêtre brut serait payé 8, 9 ou 10 sols la livre, suivant qu'il proviendrait de la fouille, des démolitions ou des nitrières, à condition que le déchet ne dépassât pas 30 pour 100 dans les deux premiers cas et 25 pour 100 dans le troisième. Les régisseurs, de leur côté, installèrent des ateliers de fabrication de salin et de potasse, et inaugurèrent un système de cours spéciaux, destinés au personnel de l'exploitation.

Dès la première année, l'initiative de Turgot fut couronnée de succès. Un arrêt du conseil (5 septembre 1779) prorogea pour 6 années la régie des poudres et salpêtres (1779-1785); il fut statué, en outre, que les régisseurs devraient choisir, pour les différents emplois de la régie, des sujets instruits, pourvus de connaissances chimiques et mécaniques; le prix de la poudre de chasse devait être, à partir du 1er octobre 1779, de 35 sols pour

Digitized by Google

les débitants, qui la revendraient 40, et de 36 sols pour les particuliers; enfin, à dater du 1er janvier 1780, les régisseurs pouvaient fournir au public le plomb à giboyer, au profit du roi et au prix courant du commerce. — Deux arrêts consécutifs (10 février 1780 et 26 avril 1781) prohibèrent la sortie à l'étranger des cendres, salins et potasses. — Un nouvel arrêt (26 avril 1783), motivé par l'état de plus en plus prospère de la régie, ordonna qu'à compter du 1er janvier 1784 la poudre serait vendue « en grain et sans être pliée en papier ».

La régie des poudres et salpêtres fut prorogée indéfiniment par un arrêt du 28 octobre 1785. — Il fut statué (1786) que le sel provenant du travail du salpêtre serait remis à la ferme des gabelles par la régie des poudres et par tous les salpêtriers sans exception, au prix de 1 sol 6 deniers à 2 sols par livre de sel effectif. — L'arrêt du 4 novembre 1787 ordonna, comme témoignage de la satisfaction du roi, que les personnes attachées à la régie seraient distinguées par un uniforme, différent pour chaque grade et nature d'emploi. — Il fut décidé (9 février 1789) que les régisseurs des poudres et salpêtres ne pourraient être choisis que parmi les employés supérieurs de la régie, sur la présentation des régisseurs au ministre des finances. — Enfin, une instruction des régisseurs généraux, sur le mode d'épreuve des salpêtres bruts, fut approuvée par l'Académie des sciences le 1er juillet 1789.

L'Assemblée constituante, avant de se séparer, compléta l'organisation de la régie des poudres et salpêtres. Le décret du 23 septembre 1791, sanctionné par le roi le 19 octobre suivant, portait que la régie des poudres serait exploitée, pour le compte de la nation, sous la surveillance et les ordres du ministre des contributions publiques. Elle devait fournir la poudre de guerre, à raison de 15 sols la livre, aux départements de la guerre et de la marine, sur les ordres donnés par les ministres de ces départements, et aux municipalités, sur les ordres du ministre de l'intérieur; cette poudre serait vendue aux négociants, pour le service extérieur, au prix de 20 sols la livre. Le salpêtre brut nécessaire aux fabricants d'acides pourrait leur être vendu au prix réglé pour celui des salpêtriers. Il serait vendu de la poudre de chasse superfine, au prix de 3 livres la livre. Enfin, les poudres étrangères saisies et confisquées seraient remises, par la régie des

Digitized by Google

douanes, aux bureaux de la régie des poudres, pour être payées à raison de 10 sols la livre. — Le personnel était lui-même assez profondément modifié. Le nombre des *régisseurs* était fixé à 3, résidant à Paris; ils étaient placés sous la surveillance et les ordres du ministre des contributions publiques, et pouvaient destituer, par délibération, tous les employés de la régie. Il était institué 3 classes de *commissaires comptables,* correspondant aux fabriques du premier rang, aux fabriques et aux raffineries du second rang, et aux entrepôts ordinaires de vente. Il devait y avoir, en outre, 2 *inspecteurs généraux,* 2 *inspecteurs particuliers,* 9 *contrôleurs* et 4 *élèves.* Nul ne pouvait parvenir aux emplois de la régie sans avoir été élève; pour être admis en cette qualité, il fallait être âgé de 18 ans au moins, et avoir subi un examen au concours sur la géométrie, la mécanique, la physique et la chimie. Le roi nommait les régisseurs entre tous les commissaires de 1re classe et les inspecteurs, pourvu qu'ils eussent au moins 5 ans d'exercice en ces qualités. Les commissaires comptables et le caissier devaient fournir, en immeubles, des cautionnements de la valeur de ceux qu'ils avaient en argent; les cautionnements des contrôleurs et inspecteurs particuliers étaient fixés à 6000 livres, et ceux des inspecteurs généraux à 12000 livres. Les traitements des régisseurs et de tous les employés devaient se composer de sommes fixes et de remises; en outre, une somme de 12000 livres était affectée à des gratifications annuelles. Enfin, les employés de la régie des poudres étaient établis dans les mêmes droits et fixations de pensions et de retraites que tous les employés des autres compagnies de finances.

L'Assemblée législative rendit trois décrets relatifs aux poudres et salpêtres. Par le premier (23 mai 1792), il fut accordé une indemnité aux salpêtriers sur leurs fournitures des années 1790 et 1791; le ministre des contributions publiques était chargé, de concert avec la régie des poudres et l'Académie des sciences, de présenter un projet de règlement pour la réception du salpêtre et la délivrance de la potasse et du salin aux salpêtriers; il était, en outre, tenu de rendre compte à l'Assemblée du succès des nitrières artificielles et des nouvelles découvertes se rapportant aux poudres et salpêtres. — Le deuxième décret (8 juin 1792) éleva les prix de vente des poudres et salpêtres de différentes qualités, per-

Digitized by Google

mit l'importation des salpêtres étrangers, et invita le ministre des contributions publiques à faire répéter les expériences relatives à l'emploi du muriate oxygéné de potasse dans la fabrication de la poudre. — Quant au troisième décret (3 septembre 1792), il autorisa le pouvoir exécutif à nommer provisoirement à deux des trois places de régisseurs, qui venaient de vaquer.

En 1793, les décrets se multiplièrent. Celui du 9 février fixa le prix du salpêtre brut à 13 sols 6 deniers la livre, et le prix de la potasse à 37 livres 10 sols le quintal. — Le 11 mars, l'introduction en France des poudres étrangères fut permise, et la vente des poudres de chasse et de traite suspendue; le prix de la poudre de guerre fut fixé à 24 sols la livre pour les départements de la guerre et de la marine, et à 21 sols pour les municipalités. — Le 5 juin, les salpêtriers commissionnés furent autorisés à fouiller, sous la surveillance des municipalités, dans les caves, celliers et autres lieux couverts ne servant pas de logement personnel. — Le 10 juin, la Convention prescrivit un mode de règlement qui mettait les régisseurs sous la surveillance et sous les ordres du conseil exécutif. — Le 28 août, le droit de fouille fut étendu aux maisons particulières, sans aucune restriction ni exception; le nombre des salpêtriers dut être augmenté, de nouvelles batteries durent être créées, et le prix du salpêtre fut fixé à 24 sols la livre. — Enfin, le décret du 21 septembre 1793 mit à la disposition du conseil exécutif provisoire, sauf indemnité, les cendres, salins et potasses servant à la confection du salpêtre, les soufres, bois et charbons propres à la fabrication de la poudre; les salpêtriers devaient payer les potasses de la régie au prix commun, et le prix des poudres de guerre était uniformément fixé à 55 sols la livre.

De cette époque date véritablement, pour le service des poudres et salpêtres, ce que l'on appelle la *période d'action révolutionnaire*. Le décret du 14 frimaire an II (4 décembre 1793) fit un appel général à tous propriétaires et locataires d'habitations à l'effet de lessiver eux-mêmes le sol des caves, écuries, etc., ainsi que les décombres des bâtiments, à la charge de livrer tout le salpêtre ainsi récolté à la régie des poudres au prix de 24 sols la livre; une instruction sur l'extraction du salpêtre serait envoyée dans toutes les communes. Invitation fut faite aux municipalités de former des ateliers de lessivage des terres apportées par les

Digitized by Google

particuliers, sous la direction d'un homme instruit. La régie était tenue d'avoir, dans chaque département, un préposé chargé d'instruire les agents des districts dans le travail de la fabrication du salpêtre; le salpêtre des diverses provenances était réuni au chef-lieu du district, où l'agent le recevait, à jour fixe, en présence d'un commissaire nommé dans chaque district, puis transporté dans les établissements de la régie pour le raffinage. — Un arrêté du Comité de salut public du 23 frimaire an II (13 décembre 1793) maintient à leur poste et dans leurs ateliers tous les employés et ouvriers des raffineries et poudreries.

L'année 1794 ne fut pas moins féconde en décrets et arrêtés relatifs aux poudres et salpêtres. Un décret de la Convention nationale, du 13 pluviôse an II (1er février 1794), créa une *Commission des armes et poudres* composée de trois membres, nommés par la Convention sur la présentation du Comité de salut public. Cette Commission était chargée de pourvoir aux approvisionnements et de passer les marchés; elle avait, à l'intérieur, le droit de réquisition et de préhension sur les objets se rapportant à la fabrication des salpêtres et poudres, et devait se concerter, pour les matières à faire venir du dehors, avec la *Commission des substances et approvisionnements*. La régie des poudres et salpêtres était mise sous l'autorité directe de la Commission des armes et poudres, placée elle-même sous la surveillance du Comité de salut public. Le même jour, la Convention décréta qu'il serait incessamment procédé à une coupe extraordinaire de bois dans toutes les forêts existantes sur le territoire français. Les commissaires nationaux des armes et poudres, nommés le 17 pluviôse an II (5 février 1794), furent Dupin, Capon et Bénézeck. — Il avait été également formé, par le Comité de salut public et sous la présidence de l'un de ses membres, une *section des armes et poudres,* composée de conventionnels et de savants. Cette section, chargée de tout ce qui concernait la fabrication du salpêtre et de la poudre, fit choix de délégués qui furent envoyés, en qualité de commissaires du Comité de salut public, sur tous les points de la France. C'est elle également qui, sur les rapports de la Commission des armes et poudres et sur l'avis des commissaires, arrêtait les mesures que devait sanctionner le Comité de salut public.

Digitized by Google

De son côté, la régie des poudres et salpêtres avait rédigé l'instruction sur la fabrication du salpêtre, et transmis des instructions particulières à tous ses préposés, notamment aux préposés instructeurs (21 pluviôse an II-9 février 1794). Les corps administratifs et les municipalités purent former très promptement des ateliers de fabrication de salpêtre. Mais en présence d'une telle production, les moyens dont on disposait pour raffiner le salpêtre et le convertir en poudre se trouvèrent tout à fait insuffisants : on établit, en conséquence, un atelier de fabrication et de raffinage du salpêtre à l'abbaye de Saint-Germain-des-Prés, une vaste poudrerie dans la plaine de Grenelle, des ateliers de trituration du charbon dans les trois moulins situés sur le pont de Charenton et dans la plaine d'Émile; enfin, des ateliers de pulvérisation du soufre et de fabrication des machines dans de grands bâtiments situés aux Ternes. La direction de la raffinerie de Saint-Germain et de la poudrerie de Grenelle fut confiée à des membres de la Convention nationale, qui devaient se concerter avec la section des armes et poudres. En même temps fut créée, pour le service général des divers établissements, l'*Agence révolutionnaire des poudres et salpêtres*, distincte et indépendante de la régie des poudres; celle-ci reçut le nom d'*Agence nationale des poudres et salpêtres*. Enfin, le 1er ventôse an II, furent inaugurés, dans l'amphithéâtre du Muséum d'histoire naturelle et dans les bâtiments de l'archevêché, des cours révolutionnaires sur la fabrication des salpêtres et poudres par des procédés nouveaux et plus expéditifs, cours divisés en huit leçons (quatre pour le salpêtre, quatre pour la poudre), et auxquels fut appelée une grande partie des préposés instructeurs et agents des districts.

On arriva, par cet ensemble de mesures, à des résultats surprenants, si bien que l'agence révolutionnaire, croyant pouvoir suffire à tous les besoins avec la raffinerie de Saint-Germain et la poudrerie de Grenelle, proposa à la section des armes et poudres la suppression de tous les moulins à pilons et établissements de l'agence nationale, considérés comme devenus inutiles. Mais l'exécution de l'arrêté fut provisoirement suspendue : Riffault, alors commissaire au Ripault, venait, en effet, d'annoncer que, par un simple battage de 3 heures, on pouvait fabriquer des produits de

Digitized by Google

première qualité. Ces assertions furent confirmées par des expériences répétées aux poudreries d'Essonne et d'Esquerdes : l'arrêté ne reçut pas d'exécution. Toutefois, la rivalité des deux agences ne pouvait manquer de créer de sérieux embarras au service, et il arrivait, par exemple, que tout le salpêtre se trouvait concentré à Paris, tandis que la plupart des raffineries de l'agence nationale en manquaient. On reconnut donc la nécessité de réunir sous une même direction tout le travail de la fabrication du salpêtre et de la poudre.

Par deux arrêtés du Comité de salut public, en date des 25 et 28 messidor an II (13 et 16 juillet 1794), les agences nationale et révolutionnaire furent supprimées. Il était créé, sous l'autorité de la Commission des armes et poudres, une *Agence des salpêtres et poudres*, chargée de surveiller et de diriger immédiatement tout le travail ancien et le travail révolutionnaire des salpêtres et poudres. Un nouvel arrêté, du 28 messidor an II, nomma les trois membres de la nouvelle agence, qui devaient entrer en fonctions le 1er thermidor (19 juillet) suivant, et parmi lesquels se trouvaient Champy et Chaptal.

Sur ces entrefaites, la raffinerie de Saint-Germain fut incendiée et la poudrerie de Grenelle sauta. Bottée, alors commissaire à Saint-Chamas, reçut le titre d'inspecteur général, et fut chargé de choisir les emplacements de quatre nouvelles poudreries dans les environs de Paris. Trois seulement furent construites : celle des Loges (forêt de Saint-Germain en Laye), qui fut supprimée la première; celle de Vincennes (ancien couvent des Minimes), qui disparut l'année suivante; et celle de Saint-Jean-en-l'Isle (maison des Antonins), qui, réunie à l'ancien local de la poudrerie d'Essonnes, constitue aujourd'hui la poudrerie du Bouchet. En outre, il fut statué, par un arrêté du 19 frimaire an III (9 décembre 1794), que 20 sujets instruits, parmi les employés de l'agence, seraient appelés à Paris pour y faire un cours d'instruction sur la fabrication du salpêtre et de la poudre. La loi du 17 germinal an III (6 avril 1795) supprima les nombreux agents des districts et les préposés instructeurs des départements; elle disposa que le salpêtre des communes qui désiraient en continuer la fabrication leur serait payé comme celui des salpêtriers commissionnés, et que les ustensiles réquisitionnés pour le service des ateliers com-

Digitized by Google

muns seraient ou restitués à leurs propriétaires, ou conservés après payement; elle autorisa enfin le Comité de salut public à régler définitivement l'organisation de l'agence des poudres et salpêtres.

Un premier projet de réorganisation, adopté par le Conseil des Cinq-Cents, fut repoussé par le Conseil des Anciens (nivôse an V-décembre 1796); mais un nouveau projet fut successivement voté au Conseil des Cinq-Cents (6 floréal an V-25 avril 1797) et au Conseil des Anciens (13 fructidor an V-30 août 1797). Cette dernière loi reconstitua le service pour le compte du gouvernement et par une administration des poudres et salpêtres rétablie sur ses anciennes bases. Le prix du salpêtre des salpêtriers était fixé au minimum de 22 sols par livre de salpêtre pur; les matériaux de démolition, enlevés gratuitement, devraient être remplacés, si les propriétaires l'exigeaient par une quantité de matériaux de même volume. La poudre de guerre, livrée aux ministères de la guerre et de la marine, serait payée à raison de 25 sols la livre. L'introduction de toute poudre étrangère en France était défendue; il en était de même de l'exportation et de l'importation des salpêtres. Le Directoire exécutif devait fixer le dosage des matières, les procédés de fabrication et le mode d'épreuve de la poudre de guerre. — Ces mesures furent complétées par la loi du 27 fructidor an V (13 septembre 1797) et par l'arrêté du Directoire du premier jour complémentaire (17 septembre 1797). Il était créé *trois administrateurs généraux,* résidant à Paris, placés sous la surveillance et les ordres du ministre des finances et devant travailler immédiatement avec lui, 3 *inspecteurs généraux,* des *commissaires* de première et de seconde classe, des *commissaires-adjoints,* 2 *élèves,* et divers employés subalternes. Les administrateurs généraux devaient être choisis par le Directoire exécutif parmi les inspecteurs généraux et les commissaires de première classe. Les traitements, le mode d'avancement et les pensions de retraite étaient également déterminés par cette loi. Le Directoire avait, en outre, la faculté de réduire le nombre des poudreries et raffineries. — Un arrêté, rendu par le Directoire au commencement de l'an VI (octobre 1797) sur le rapport fait à l'Institut national (messidor an V-juin 1797), régla le mode d'épreuve du

Digitized by Google

salpêtre brut à partir du 1er vendémiaire an VI (22 septembre 1797). — Un arrêté du 9 messidor an VI (27 juin 1798) interpréta le mode de remplacement à faire par les salpêtriers des matériaux salpêtrés enlevés par eux. — Enfin, par un arrêté du 17 germinal an VII (6 avril 1799) fut promulgué le document intitulé : *Rapport et Instruction sur le mode d'épreuve, de réception, d'emmagasinement et de transport des poudres de guerre.*

L'arrêté du premier Consul, du 27 pluviôse an VIII (16 février 1800), portant règlement sur la régie des poudres et salpêtres, statua que, dès lors, elle serait mise dans les attributions du ministère de la guerre, et que les administrateurs auraient à rendre compte au ministre de la guerre et au premier inspecteur général de l'artillerie. Les traitements se composaient de sommes fixes et de remises sur la récolte du salpêtre et sur la fabrication de la poudre de guerre. Les salpêtriers étaient commissionnés par le ministre de la guerre; le prix du salpêtre se composait d'une partie fixe et d'une partie variable qui correspondaient aux dépenses d'exploitation générale et à la quantité de potasse employée; l'importation du salpêtre ne pouvait se faire que par les ports de Marseille, Lorient, le Havre, Dunkerque et Anvers. Le prix de la poudre de guerre livrée aux services de la guerre et de la marine était fixé à $2^{fr},80$ le kilogramme.

L'arrêté du 10 prairial an XI (30 mai 1803) porta augmentation du prix du salpêtre livré par les salpêtriers et indemnité pour les frais de transport. La poudre de chasse superfine ne pouvait être distribuée que dans les magasins principaux de l'administration. Enfin, le mode de fixation des pensions de retraite était établi sur de nouvelles bases. — L'arrêté du 25 fructidor an XI (12 septembre 1803) statua que les bottes ou bourrées de bois de bourdaine, ayant $2^{m},00$ de long sur $1^{m},50$ de diamètre, seraient payées à raison de $0^{fr},25$ la botte, non compris une indemnité de $0^{fr},25$ par chaque cent de bottes pour les gardes des bois et forêts. — Un autre arrêté du 5 germinal an XII (26 mars 1804) fixa les prix des salpêtres et des poudres. L'administration était autorisée à payer aux salpêtriers, à dater du 1er vendémiaire précédent, une gratification en potasse, qui pouvait être convertie en numéraire, à raison de 1^{fr} par kilogramme de potasse. — Un décret du 23 pluviôse an XIII (12 février 1805) interdit toute vente de

Digitized by Google

poudre de guerre par l'administration des poudres; une exception était faite en faveur des artificiers patentés. — Par un décret du 16 floréal an XIII (6 mai 1805), le rayon auquel devait s'étendre le droit de coupe du bois de bourdaine, autour de chaque poudrerie, fut porté de 6 à 15 myriamètres. — Un décret du 25 prairial an XIII (14 juin 1805), déterminant de nouveaux prix pour les salpêtres et les poudres, portait que, en ce qui concerne les gratifications en potasse, celle-ci serait évaluée à raison de 1^{fr},50 le kilogramme.

Par un décret du 28 février 1806, la faculté était donnée à l'administration d'accorder la mise en jugement de ses préposés sans recourir au conseil d'État. — Un décret du 12 août 1806, en fixant de nouveaux prix du salpêtre, supprima toute gratification en potasse. — Une loi de 1806 ayant établi un droit sur le sel marin, la quotité de sel à payer ou à livrer à l'administration des droits réunis par l'administration des poudres fut déterminée, pour la fabrication et le raffinage du salpêtre, par le décret du 16 janvier 1807. — En vertu d'un décret du 22 janvier 1808, les traitements continuaient à être composés d'une somme fixe et de remises, lesquelles ne pouvaient dépasser un taux déterminé. Il était également établi un maximum pour les pensions de retraites. — Un décret du 29 mai 1808 rétablit la délivrance de potasse à faire aux salpêtriers, comme composant une partie du prix de leur salpêtre. — Le dosage de la poudre de guerre fut fixé par un décret du 18 août 1808. — Un autre décret, du 2 février 1809, augmenta le prix des poudres fournies aux ministères de la guerre et de la marine. — Le 5 août suivant, le prix des poudres de vente fut aussi porté à un taux plus élevé. — Le 12 janvier 1811, un avis du conseil d'État portait que l'arrêt du conseil, du 9 juillet 1718, relatif aux salpêtriers, ne devait plus avoir force de loi. — Un décret du 8 février 1811 diminua le prix du salpêtre livré par les salpêtriers. — Un décret du 16 mars 1813 chargea la régie des droits réunis de surveiller la fabrication, la circulation et la vente des salpêtres. — Enfin, un décret impérial du 1er mai 1815 porta que les élèves de l'administration des poudres et salpêtres seraient pris exclusivement parmi les élèves de l'École polytechnique.

Digitized by Google

§ V.

Service des poudres et salpêtres rattaché à l'artillerie (1816-1865).

A partir de l'année 1816 jusqu'en 1865, le service des poudres et salpêtres se trouve directement rattaché à l'artillerie.

L'ordonnance du 20 novembre 1816 institue, près de chacun des établissements, des officiers du corps royal d'artillerie en qualité d'*inspecteurs,* lesquels seront choisis parmi les officiers supérieurs ou capitaines en activité de service, et rempliront des fonctions analogues à celles des inspecteurs des manufactures d'armes. — Celle du 19 novembre 1817 supprime les régisseurs généraux et inspecteurs généraux des poudres et salpêtres et confie la *direction générale des poudres* à un lieutenant-général d'artillerie en activité; par une ordonnance du même jour, le comte Ruty est nommé directeur général.

D'après l'ordonnance du 25 mars 1818, la vente des poudres de chasse, de mine et de commerce doit être, à dater du 1er juin suivant, exclusivement exploitée par la direction générale des contributions indirectes; il en sera de même de la vente des poudres de guerre destinées au commerce maritime et aux artificiers patentés. Ces poudres seront vendues aux prix déterminés par la loi. Une ordonnance spéciale fixera, chaque année, le taux auquel chacun des départements de la marine et des finances remboursera à la direction générale des poudres le prix de fabrication des poudres qui lui seront livrées dans le cours de l'année. A ces dispositions générales [titre I] sont jointes les mesures d'exécution [titre II] et des dispositions transitoires [titre III].

L'ordonnance du 15 juillet 1818 règle, dans tous ses détails, l'organisation du personnel et du service. Les inspecteurs d'artillerie, attachés aux établissements pour en surveiller le service « sous le rapport de l'art et de la police », devront exercer la même surveillance sur l'administration et la comptabilité. Il sera formé, près de la direction générale, un *comité consultatif* dont les travaux auront pour objet le perfectionnement de l'art [titre I]. — Les établissements du service comprennent : la *direction générale* (Paris), 4 *poudreries et raffineries* (Le Ripault, Colmar,

Digitized by Google

Toulouse, Bordeaux-Saint-Médard), 9 *poudreries* (Essonne, Saint-Jean-d'Angély, Le Pont-de-Buis, Esquerdes, Saint-Ponce, Metz, Vonges, Saint-Chamas, Maromme), 8 *raffineries* (Paris, Besançon, Marseille, Avignon, Lyon, Dijon, Lille, Nancy), et 3 *entrepôts* pour réception de salpêtre (Châlons, Clermont-Ferrand, Montpellier). A chaque établissement est affecté une classe spéciale [titre II, tableau A]. — Les agents administrateurs et comptables sont : le *directeur général,* 21 *commissaires aux poudres et salpêtres* (3 de première classe, 13 de deuxième, 5 de troisième), 2 *commissaires-adjoints,* 2 *élèves-commissaires* et 3 *entreposeurs*. L'ordonnance mentionne également la composition du personnel des bureaux de la direction générale. Le comité consultatif se compose du directeur général, d'un membre de l'Académie des sciences et d'un commissaire de première classe. Le ministre détermine le nombre des *ouvriers à poste fixe* et délivre les commissions des *salpêtriers* [titre III]. — Le titre IV se rapporte au personnel de l'inspection spéciale et permanente. — Le titre V règle les conditions d'admission et d'avancement aux divers emplois. — Le titre VI concerne les fonctions et la responsabilité des agents de la direction générale. Le directeur général n'a aucun maniement personnel de fonds ni de matières : sa gestion est purement d'ordre, et sa responsabilité morale. Les commissaires ordonnent tout; les inspecteurs ont le devoir de tout surveiller. — Le titre VII détermine les fonctions et la responsabilité des inspecteurs. — D'après le titre VIII, les traitements des agents et employés principaux seront réglés à l'année en sommes fixes, et payés, chaque mois, par douzièmes (tableau B). Les indemnités seront réglées par le ministre. — Le titre IX stipule que les agents, employés et ouvriers à poste fixe jouiront de pensions de retraite. — Le titre X règle l'uniforme des commissaires, entreposeurs et ouvriers à poste fixe. — Enfin, le titre XI se rapporte à des dispositions transitoires et d'exécution.

A l'ordonnance du 15 juillet 1818 se rattachent celles des 10 mars et 11 août 1819. Par la première, l'importation du salpêtre exotique est déclarée libre et permise, moyennant un droit d'entrée déterminé. La fouille ne pourra plus avoir lieu qu'en traitant de gré à gré avec les propriétaires. La fabrication et la vente du salpêtre indigène sont également déclarées libres; toute-

Digitized by Google

fois, les matériaux de démolition ne pourront être employés à cette industrie qu'en dehors des circonscriptions des salpêtrières royales, et les fabricants devront se munir d'une licence spéciale. La fabrication du salpêtre avec les matériaux de démolition continuera d'avoir lieu dans les circonscriptions des salpêtrières royales, soit au compte de l'État, soit par entreprise, en vertu d'une commission donnée par le roi. Les fabricants libres ou par licence et les salpêtriers commissionnés seront tenus d'acquitter l'impôt établi sur le sel marin; il en sera de même pour les fabriques de l'État. — L'ordonnance du 11 août 1819 indique les départements compris dans les circonscriptions des salpêtrières royales, et ceux où l'exploitation du salpêtre est abandonnée à l'industrie privée. En outre, la faculté de vendre des salpêtres au public est interdite à l'administration des poudres, à dater du 1er novembre suivant; et cette administration, exclusivement chargée de la fabrication des poudres et des salpêtres nécessaires à l'État pour les départements de la guerre, de la marine et des finances, sera désignée à l'avenir sous le nom de *service des poudres et salpêtres de France*.

Il ne reste plus que trois ordonnances à signaler, pendant la période de la Restauration. Une ordonnance du 25 juin 1823 statue que les fabriques de poudre feront partie de la première classe des établissements insalubres ou incommodes dont la nomenclature est annexée à l'ordonnance du 14 janvier 1815. — L'ordonnance du 19 juillet 1829 porte que l'administration des contributions indirectes fournira exclusivement aux armateurs et négociants les poudres de chasse et autres (sauf les poudres de guerre) qui pourront être demandées par eux, soit pour l'armement et le commerce maritime, soit pour l'exportation par la voie de terre, laquelle ne pourra se faire que pour la poudre dite *de commerce extérieur*. Elle détermine les prix des diverses poudres et prescrit les principales précautions à observer pour la vente et le transport desdites matières. — Enfin, l'ordonnance du 20 septembre 1829, achevant l'œuvre commencée en 1816, supprime l'emploi de directeur des poudres et salpêtres, et réunit la direction du service aux fonctions et attributions de l'*inspecteur général de l'artillerie;* les détails du service de l'administration centrale des poudres et salpêtres sont confiés à un colonel

Digitized by Google

de l'état-major de l'artillerie, avec le titre d'*inspecteur des poudreries et raffineries;* un membre de l'Académie des sciences est chargé de l'inspection et de la vérification des opérations chimiques qui se rapportent au salpêtre et à la poudre. Il est établi, près de l'administration centrale, un *conseil d'administration* composé de l'inspecteur des poudreries et raffineries, de l'officier d'artillerie chargé de l'inspection de la raffinerie de Paris et du commissaire de cette raffinerie; ce conseil doit centraliser les comptes généraux, répartir les fonds entre les divers établissements, etc. Le nombre des commissaires est réduit à 17 (3 de première classe, 10 de deuxième, 4 de troisième); l'emploi de commissaire-adjoint est supprimé. La poudrerie de Maromme et les entrepôts de salpêtre de Dijon et de Montpellier seront supprimés dans le courant de l'année 1830. Il sera placé, dans chaque poudrerie, un *garde d'artillerie* spécialement chargé, sous les ordres de l'inspecteur, de la vérification du dosage et de la garde des magasins à poudre.

Ces diverses dispositions sont modifiées dès le début de la monarchie de juillet. L'ordonnance du 27 août 1830 supprime l'emploi de premier inspecteur de l'artillerie. Celle du 18 septembre de la même année supprime l'emploi d'inspecteur des poudreries et raffineries, et statue que la direction du service des poudres et salpêtres sera confiée à un officier général du corps d'artillerie; elle détermine de nouveau la composition du conseil d'administration, et établit près la direction du service des poudres un *conseil de perfectionnement* composé du directeur, d'un membre de l'Académie des sciences, de l'inspecteur de la raffinerie de salpêtre de Paris et d'un commissaire attaché au service de ladite raffinerie. — D'après l'ordonnance du 10 août 1834, le membre de l'Académie des sciences qui fait partie du conseil de perfectionnement cessera d'occuper cet emploi pour être désormais attaché au Dépôt central de l'artillerie. — L'ordonnance du 11 novembre 1835 porte qu'il sera formé, dans le cours du dernier trimestre de chaque année, une *commission spéciale et mixte*, chargée d'examiner et d'arrêter le budget du service des poudres et le compte général de cette même administration. Cette commission se compose du directeur du service des poudres, d'un membre du comité de l'artillerie, d'un membre de l'administra-

Digitized by Google

tion du matériel de la marine, d'un membre du conseil d'administration de la direction des contributions indirectes et d'un membre de l'intendance militaire.

Nous mentionnerons également, dans la même période, la loi du 24 mai 1834 sur les détenteurs d'armes ou de munitions de guerre, et l'ordonnance du 30 octobre 1836, portant règlement sur les fabriques de fulminate de mercure, amorces fulminantes et autres matières dans la préparation desquelles entre le fulminate de mercure.

L'ordonnance du 26 février 1839 modifie l'organisation du service en vue de rendre possible l'application des principes nouveaux sur la comptabilité, résultant de l'ordonnance du 31 mai 1838. Il est statué que les établissements seront soumis à l'inspection des inspecteurs généraux d'artillerie en tournée; un *comité spécial* est créé près la direction centrale [titre I]. — Le personnel chargé de la direction centrale et de la gestion du service se compose d'un *directeur* (officier général d'artillerie), de *commissaires* comptables et responsables ($\frac{1}{3}$ au plus de première classe, $\frac{1}{3}$ au plus de deuxième, le surplus de troisième), de 2 *commissaires-adjoints,* de 2 *élèves-commissaires,* d'*entreposeurs* pour la réception des salpêtres bruts, en nombre égal à celui des entrepôts, d'*employés* pour les bureaux de la direction centrale, de *maîtres-ouvriers* et d'*ouvriers à poste fixe.* Le comité spécial se compose du directeur, d'un membre de l'Académie des sciences, de trois délégués des ministères de la guerre, de la marine et des finances, d'un commissaire aux poudres et salpêtres, et de l'inspecteur de la raffinerie de Paris [titre II]. — Le titre III règle les conditions d'admission et d'avancement. — Le titre IV se rapporte aux fonctions et à la responsabilité des divers agents. Le comité spécial discute et arrête le budget général du service et les comptes de chaque exercice. Les inspecteurs d'artillerie indiquent aux commissaires les mesures qu'ils jugent convenables, et ne donnent directement aucun ordre. — Le titre V porte que le service des poudres et salpêtres forme un chapitre spécial du budget du ministère de la guerre. Le ministre dispose des fonds alloués par des *ordonnances de délégation* au nom du directeur du service des poudres et salpêtres, qui remplit les fonctions d'*ordonnateur secondaire* et sous-délègue aux inspecteurs d'artillerie la portion

Digitized by Google

de crédit nécessaire à la gestion de chaque établissement. Le directeur et les inspecteurs délivrent, sur les caisses du trésor public, deux sortes de mandats : *mandats directs* au nom des créanciers du service, *mandats d'avance* au nom des commissaires, pour le règlement des parties du service régies par économie. — Le titre VI concerne les traitements du personnel. — Le titre VII règle quelques dispositions transitoires.

De 1840 à 1865, époque du partage des poudreries entre deux ministères, nous n'avons à signaler qu'une série de documents officiels de moindre importance; nous citerons les principaux. L'ordonnance du 4 septembre 1844 règle les détails de la circulation et de la vente des poudres à feu en Algérie. — Une circulaire du ministre de l'intérieur, en date du 4 décembre 1846, prescrit que la fabrication et la vente de la poudre-coton soient soumises aux dispositions des lois du 13 fructidor an V et du 24 mai 1834, et établit que ces deux lois concernent toutes les poudres à feu, quelle qu'en soit la nature. Cette jurisprudence a été confirmée par de nombreux arrêts de la Cour de cassation, notamment par ceux du 2 janvier 1858 (combinaison explosive du sieur Murtineddu) et du 1er mai 1874 (transport et fabrication de dynamite par le sieur Biet). — Le décret du 1er mars 1852 porte que l'introduction en France des poudres à feu sera punie des peines établies pour les importations de marchandises prohibées. — L'article 13 de la loi des finances du 17 mars 1852 portant que les fabricants de salpêtre libre, par licence ou commissionnés, seront soumis, comme les fabricants de produits chimiques, aux obligations énumérées en l'article 11 de la loi du 17 juin 1840, le décret du 19 mars 1852 statue que les salpêtreries seront surveillées, dans un rayon de 15^{km} des usines, par les agents des douanes ou des contributions indirectes, et détermine les conditions de cette surveillance. — Enfin, le décret du 8 octobre 1864 autorise la vente de deux nouvelles espèces de poudre de mine : la poudre lente et la poudre forte.

Cependant, le système inauguré par l'ordonnance du 20 novembre 1816 n'avait pas réussi, et les inconvénients en apparaissaient chaque jour plus sensibles. On crut trouver un remède à cette situation dans le partage du service entre les deux départements de la guerre et des finances.

Digitized by Google

§ VI.

Service des poudres et salpêtres rattaché aux manufactures de l'État (1865-1874).

Le décret du 17 juin 1865 supprime, à dater du 1er janvier 1866, la direction des poudres et salpêtres, dont les attributions sont partagées entre le ministère de la guerre et le ministère des finances. Le premier fabrique exclusivement les divers types de poudres nécessaires pour les services militaires, et conserve, à cet effet, 5 poudreries (Metz, le Bouchet, le Ripault, Saint-Chamas, Constantine). Le second fabrique tous les types de poudres de mine, de commerce extérieur et de chasse, et en général toutes matières explosibles assimilables à la poudre, destinées à être vendues aux particuliers; il reçoit, à cet effet, du ministère de la guerre, 7 poudreries (Saint-Ponce, Vonges, Toulouse, Saint-Médard, Angoulême, le Pont-de-Buis, Esquerdes), 3 raffineries de salpêtre (Lille, Marseille, Bordeaux), 1 raffinerie de soufre (Marseille) et une partie de la raffinerie de salpêtre de Paris (magasin de Grammont). Le partage des approvisionnements de matières premières sera effectué en prenant pour base la moyenne de la fabrication des 11 dernières années. Les commissaires des poudres et salpêtres passent au service du département des finances, et la direction générale des tabacs est chargée de la fabrication des poudres de commerce.

Ce décret est complété par celui du 9 novembre 1865. La fabrication des poudres de vente et le raffinage des salpêtres sont ajoutés aux attributions de la direction générale des tabacs, pour former une administration unique sous le nom de *direction générale des manufactures de l'État*. Le conseil d'administration se compose du directeur général et de 3 administrateurs. Le personnel du commissariat des poudres et salpêtres est réuni à celui des ingénieurs du service des tabacs; les élèves-ingénieurs continueront à se recruter à l'École polytechnique, et l'école dans laquelle ils complèteront leur instruction spéciale prendra le nom d'*École d'application des manufactures de l'État*. Les directeurs de poudreries et raffineries, ou les ingénieurs faisant

Digitized by Google

fonction de directeur, seront ordonnateurs secondaires; leurs mandats seront délivrés sur les caisses des receveurs principaux des contributions indirectes. Les comptes de la gestion en matières seront présentés annuellement à la Cour des comptes par les gardes-magasins comptables. — Le directeur général, les administrateurs, les ingénieurs en chef inspecteurs, les directeurs et l'ingénieur en chef du service central des constructions sont nommés directement par l'empereur, les chefs de bureau, ingénieurs et élèves-ingénieurs par le ministre des finances, et les titulaires de tous les autres emplois par le directeur général.

Un autre arrêté ministériel du 10 novembre 1865 fixe la composition et les traitements du personnel, et décide que le personnel des poudreries et raffineries recevra, ultérieurement et graduellement, une organisation analogue à celle existant dans les manufactures de tabacs. — Un second arrêté, du même jour, organise les services de l'administration centrale.

Pendant la guerre de 1870-1871, les poudreries civiles sont exclusivement affectées à la fabrication des poudres de guerre. Une décision du 5 octobre 1870 prescrit l'organisation de la fabrication des poudres dans l'enceinte de Paris, et la poudrerie dite *de Philippe-Auguste* fonctionne dès le 2 novembre (1). En outre, trois décrets consécutifs (8 octobre, 14 novembre et 31 décembre 1870) autorisent l'entrée en franchise des poudres de fabrication étrangère, jusqu'à la conclusion de la paix.

Trois ans plus tard, en vue de la reconstitution des approvisionnements de l'artillerie, il est statué que le service des poudres et salpêtres sera de nouveau rattaché au ministère de la guerre (13 novembre 1873).

§ VII.

Service des poudres et salpêtres rattaché au ministère de la guerre (1874) et constitué en service spécial (1876).

Le décret du 13 novembre 1873 dispose que toutes les poudreries et raffineries ressortiront au ministère de la guerre, à partir du 1er janvier 1874. La direction de la fabrication des poudres et

(1) Voir *Mém. poudr. salp.* : 2 107.

Digitized by Google

autres substances explosives monopolisées sera confiée à un corps spécial d'*ingénieurs des poudres et salpêtres,* placé sous l'autorité directe du ministre de la guerre, et dont la composition, le mode de recrutement et l'organisation seront déterminés par un règlement délibéré en Conseil d'État; transitoirement, l'administrateur des poudres et salpêtres remplira, en ce qui concerne les établissements provenant du département des finances, les fonctions dévolues par le décret du 29 août 1865 à l'inspecteur des poudreries militaires. En outre, un comité spécial, dans la composition duquel entreront un membre de l'Académie des sciences et des représentants des services intéressés, sera institué près du ministre de la guerre, pour donner son avis sur les questions administratives et techniques relatives au service des poudres.

L'article 11 de la loi du 13 mars 1875, relative à la constitution des cadres et des effectifs de l'armée active et de l'armée territoriale, statue que « la direction de la fabrication des poudres et autres substances explosives monopolisées est confiée à un corps spécial d'ingénieurs, se recrutant à l'École polytechnique, placé sous l'autorité directe du ministre de la guerre et dont les membres portent le nom d'ingénieurs des poudres et salpêtres. » La composition et l'organisation de ce corps doivent être déterminées par un règlement d'administration publique.

Le décret du 9 mai 1876 porte règlement sur l'organisation et les attributions du corps des ingénieurs des poudres et salpêtres.

La direction des poudreries et raffineries de l'État constitue, au ministère de la guerre, un service spécial, indépendant des services consommateurs; une seule poudrerie demeure réservée aux officiers de l'artillerie de terre. Le corps des ingénieurs comprend : 2 inspecteurs généraux (1 de première classe, 1 de seconde), 8 ingénieurs en chef (4 de première classe, 4 de seconde), 14 ingénieurs (7 de première classe, 7 de seconde), 12 sous-ingénieurs, et un nombre d'élèves-ingénieurs proportionné aux besoins du service; ces derniers sont recrutés exclusivement à l'École polytechnique. Les sous-ingénieurs sont nommés après deux ans de service en qualité d'élèves-ingénieurs; les ingénieurs ne peuvent être promus à un grade supérieur qu'après deux ans de service dans le grade immédiatement inférieur. L'avancement au

Digitized by Google

grade d'ingénieur de seconde classe est donné un tiers au choix et deux tiers à l'ancienneté; l'avancement aux grades supérieurs a lieu au choix. Les ingénieurs peuvent être placés en non-activité par retrait ou par suppression d'emploi. Ils sont soumis aux lois et règlements sur les pensions civiles; les inspecteurs généraux de première et de seconde classe sont admis d'office à faire valoir leurs droits à la retraite à l'âge de 70 et de 65 ans, les ingénieurs en chef à l'âge de 62 ans, les ingénieurs et sous-ingénieurs à l'âge de 60 ans. La révocation des ingénieurs peut être prononcée par le président de la République. Les traitements sont fixés par décret présidentiel, et les indemnités diverses par des arrêtés ministériels [titre I, section I]. — Le personnel d'exploitation comprend un personnel permanent, nommé par le ministre, soumis aux retenues fixées par les lois et règlements sur les pensions civiles, et un personnel auxiliaire; le taux des traitements et des salaires est déterminé par le ministre [titre I, section II]. — Les inspecteurs généraux sont chargés de l'inspection permanente des établissements, et remplissent, en outre, les fonctions administratives qui peuvent leur être confiées par le ministre; chaque établissement est visité, au moins une fois l'an, par l'inspecteur général désigné. Les ingénieurs et sous-ingénieurs sont répartis dans les établissements suivant les besoins du service : le plus élevé en grade ou, en cas d'égalité de grade, le plus ancien dans chaque établissement, prend le titre de directeur; il correspond directement avec le ministre. Le comité spécial consultatif, créé par le décret du 13 novembre 1873, se compose du président du comité d'artillerie, de deux officiers généraux de l'artillerie de terre, d'un officier général ou supérieur de l'artillerie de marine, d'un membre de l'Académie des sciences, du directeur général des contributions indirectes, d'un inspecteur général des ponts et chaussées ou des mines, des deux inspecteurs généraux des poudres et salpêtres, et d'un ingénieur en chef du même service remplissant les fonctions de secrétaire avec voix consultative; le comité se réunit au moins une fois par mois, et donne son avis sur les questions administratives ou techniques relatives au service des poudres et sur les désaccords survenus entre les services intéressés [titre II]. Les deux poudreries encore dirigées par des officiers d'artillerie seront remises au service des poudres, l'une

Digitized by Google

le 1er janvier 1879 au plus tard, l'autre le 1er janvier 1880 [titre III, section I].

Par décision du président de la République (6 juin 1876), le service des poudreries et raffineries est rattaché à la direction générale du personnel et du matériel au ministère de la guerre; un décret du même jour nomme le chef dudit service. Le 12 juillet suivant, un nouveau décret décide qu'un officier général ou supérieur du génie fera partie du comité consultatif; les membres de ce comité sont nommés par un décret du 18 décembre 1876.

Deux décrets fixent les traitements du corps des ingénieurs (27 février 1877) et du personnel d'exploitation des établissements (9 mars 1878). — La circulaire ministérielle du 23 mars 1878 porte réorganisation, à dater du 1er avril suivant, du personnel d'exploitation du service. Les deux cadres des gardes-magasins et des commis sont remplacés par un cadre unique de *commis des poudres et salpêtres,* qui comporte 33 agents (13 commis principaux et 20 commis), entre lesquels seront réparties les fonctions de comptable en deniers, comptable en matières et commis aux écritures, suivant les aptitudes individuelles et les besoins du service; un cautionnement de 3000fr est imposé à tout titulaire d'un emploi de comptable; des commis auxiliaires, en nombre variable, sont attachés aux bureaux. En ce qui concerne le personnel de la fabrication, les dénominations de *maître, adjoint au maître, maître charpentier, maître tonnelier, maître garçon, ouvrier à poste fixe,* sont remplacées par celles de *chef, sous-chef, chef-mécanicien, chef-emballeur, brigadier, poudrier;* le nouveau cadre comprend 33 chefs-ouvriers, 20 sous-chefs-ouvriers, 80 brigadiers, 200 poudriers, 13 concierges; le personnel auxiliaire, non immatriculé, est astreint aux retenues versées à la caisse des retraites pour la vieillesse. La distinction entre le grade et la fonction est appliquée à tous les agents immatriculés du service de l'exploitation, qui sont nommés aux différents grades par le ministre; les agents des personnels auxiliaires sont admis par les directeurs. — Enfin, la circulaire du 16 septembre 1878 fixe le prix de la journée pour le personnel auxiliaire et celui du travail supplémentaire.

Un règlement, du 25 mars 1878, fixe le mode d'enseignement

Digitized by Google

applicable aux élèves ingénieurs et les conditions d'aptitude pour leur passage au grade de sous-ingénieur. Les élèves sont classés au Dépôt central des poudres et salpêtres; ils suivent différents cours dans les Écoles des mines et des manufactures de l'État, et des cours spéciaux au Dépôt central. Un conseil composé d'un inspecteur général, du directeur du Dépôt central, et des ingénieurs du service chargés de l'enseignement spécial, discute les programmes et l'ordre des cours, arrête les listes de classement, etc. [titre I]. — La durée des études est de deux années; l'enseignement comprend des cours oraux et des exercices pratiques. Les missions dans les établissements ont lieu pendant la seconde moitié des années d'étude [titre II]. — Les examens ont lieu à la fin des cours; à chacun d'eux est affecté un coefficient déterminé [titre III]. — Le titre IV règle le mode de classement des élèves à la fin de chaque année d'étude, et le titre V les conditions d'aptitude pour le passage au grade de sous-ingénieur. Le titre VI se rapporte à des mesures transitoires.

Par décret du 26 mars 1878, la direction générale du personnel et du matériel au ministère de la guerre est supprimée, et les six services composant cette direction générale sont remplacés par un même nombre de directions distinctes, relevant directement du ministre de la guerre; le service des poudres et salpêtres constitue la sixième direction.

Un décret du 14 juin 1878 institue près le ministre de la guerre une commission scientifique, dite *des substances explosives,* pour l'étude des questions que le ministre juge à propos de renvoyer à son examen, sur l'avis du comité spécial consultatif des poudres et salpêtres, ou sur la demande des services ou départements ministériels intéressés. Elle se compose de membres permanents et de membres adjoints et temporaires. Un rapport annuel est adressé au ministre de la guerre pour rendre compte des résultats obtenus. La Commission des substances explosives est présidée, depuis sa fondation, par M. Berthelot, sénateur, membre de l'Institut (décret du 23 juillet 1878).

Une décision ministérielle du 24 août 1878 établit une *Commission de classement* pour l'avancement et les récompenses du personnel permanent du service des poudres et salpêtres. Cette commission, composée des deux inspecteurs généraux et du plus

Digitized by Google

ancien des ingénieurs en chef de première classe, se réunit aux époques fixées par le ministre.

Le *Mémorial des poudres et salpêtres* est créé par décision ministérielle du 14 janvier 1881. Ce recueil, d'abord confidentiel, a été mis dans le commerce par décision du 24 mai 1890. Il en paraît, depuis cette époque, un volume chaque année, par livraisons trimestrielles.

Par un décret du 31 août 1881, modifié par celui du 11 mars 1885, est créé le *Laboratoire central de la marine*, pour les recherches qui se rapportent au perfectionnement du matériel de l'artillerie navale, et spécialement à l'emploi des poudres. L'organisation de ce laboratoire, qui est établi dans les locaux du Laboratoire central des poudres et salpêtres, est réglée par les arrêtés du 1er septembre 1881 et du 13 mars 1885.

Le décret du 15 décembre 1885 a pour but de mettre l'organisation administrative du service des poudres et salpêtres en harmonie avec les principes posés dans la loi du 16 mars 1882 sur l'administration de l'armée. Le titre I dispose que les établissements dudit service sont placés sous la direction immédiate du ministre de la guerre. Le titre II (exécution du service) règle les attributions et la responsabilité du chef de l'établissement, des ingénieurs, du conseil de l'établissement, de l'agent spécial, du comptable en matières et des chefs d'ateliers. Le titre III prévoit le contrôle des établissements par les membres du corps du contrôle de l'administration de l'armée. Le titre IV concerne des dispositions générales.

La loi du 8 mars 1875 avait disposé que, « par dérogation à la loi du 13 fructidor an V, la dynamite et les explosifs à base de nitroglycérine pourraient être fabriqués dans des établissements particuliers, moyennant le payement d'un impôt » ; et le décret du 24 août suivant, qui portait règlement d'administration publique pour l'exécution de ladite loi, stipulait que « la dynamite importée serait soumise aux mêmes conditions que la dynamite fabriquée à l'intérieur ». En outre, le règlement du 10 janvier 1879 (1) imposait aux dynamiteries privées, qui voudraient être admises au

(1) Voir *Mém. poudr. salp.* : 4 *60.

Digitized by Google

transport par chemins de fer, de recevoir à leurs frais un agent du service des poudres et salpêtres, qui serait chargé en permanence de surveiller la fabrication de la dynamite. Cette disposition étant applicable, en vertu du décret du 24 août 1875, aux dynamiteries étrangères qui désireraient importer leurs produits en France, le service des poudres et salpêtres a dû prendre des mesures pour assurer le recrutement et la préparation d'agents spéciaux en vue de la surveillance à exercer en France et, au besoin, à l'étranger sur la fabrication des dynamiteries privées (décision ministérielle du 20 juillet 1883).

En outre, l'arrêté interministériel du 15 février 1893 dispose que les fabricants de dynamite ne pourront, sans l'autorisation du ministre du commerce, modifier la nature ou le dosage des matières entrant dans la composition de leurs produits, et qu'ils devront remettre un échantillon des nouveaux types à l'agent des poudres et salpêtres chargé de la surveillance de l'usine.

CONCLUSIONS.

C'est de cette dernière période de vingt années, qui a suivi le rattachement définitif du service des poudres et salpêtres au ministère de la guerre et sa constitution en direction spéciale, que datent le développement considérable des moyens de production des poudreries françaises et l'installation des fabrications d'explosifs nouveaux : mélinite et poudres sans fumée.

En 1889 (1), la puissance de production était normalement, par année, de 15 000 000^{kg} d'explosifs de toute espèce. Les onze poudreries (Saint-Ponce, Vonges, Saint-Chamas, Toulouse, Saint-Médard, Angoulême, le Ripault, le Pont-de-Buis, le Moulin-Blanc, Esquerdes, Sevran-Livry) occupaient une superficie totale de 586^{ha}, avec un personnel d'environ 3500 ouvriers. A ces établissements il convient d'ajouter les trois raffineries de Lille, Bordeaux et Marseille, et le Laboratoire central des poudres et salpêtres, à Paris.

Ce dernier établissement comprend, outre les laboratoires

(1) Voir *Mém. poudr. salp.* : 3 25.

Digitized by Google

d'études et de recherches scientifiques, les locaux affectés à l'inspection générale des poudres et salpêtres, à l'École d'application des poudres et salpêtres, à la Commission des substances explosives et à la Commission de fabrication des poudres.

C'est au Laboratoire central des poudres et salpêtres que le principe de la fabrication des nouvelles poudres sans fumée a été découvert dès la fin de l'année 1884 (1).

Indépendamment des progrès que l'organisation du service des poudres et salpêtres a permis de réaliser dans la fabrication des explosifs balistiques, il convient de signaler l'amélioration que le système général d'installation des usines et l'adoption de procédés nouveaux ont apportée aux conditions de sécurité des travailleurs.

Il ressort, en effet, d'une statistique établie d'après des documents officiels, que le nombre moyen des accidents mortels survenus dans les poudreries nationales, par 1000 ouvriers et par année, était de 3,63 pendant la période 1820-1872. Ce chiffre s'est abaissé à 2,61 pour la période 1873-1883, et à 0,75 pour la période actuelle (1884-1893).

Or, les chiffres correspondants, pour les industries réputées les plus dangereuses, sont les suivants (2) :

Bâtiments armés pour la pêche en Islande (1874-1883).	9,20
Houillères	3,37
Camionnage et roulage	3,33
Exploitation des chemins de fer belges (1879-1882)	2,97
Construction de chemins de fer, ponts, etc	2,94
Carrières	2,34
Brasseries	1,86
Exploitation des chemins de fer anglais (1874-1887)	1,78
Travaux de maçonnerie et de charpenterie	1,35
Exploitation des chemins de fer français (1875-1885)	1,25
Fabrication des machines et outils	0,58
Industrie textile	0,23

D'autre part, le taux de la mortalité par accidents correspon-

(1) Voir *Mém. poudr. salp.* : 3 9.
(2) *Ibid.* : 4 *110.

Digitized by Google

dant à la période 1879-1893 pour les trois dynamiteries privées (Paulilles, Ablon, Cugny), dont le fonctionnement a été autorisé en vertu de la loi du 8 mars 1875, par dérogation à la loi du 13 fructidor an V, s'élève à 16,00 par 1000 ouvriers et par année.

Il en résulte que, pour la période actuelle, le taux de la mortalité des poudreries nationales est moindre que $\frac{1}{20}$ de celui des dynamiteries privées, qu'il est notablement inférieur au taux correspondant à l'exploitation des chemins de fer français, et que, par suite, les établissements du service des poudres et salpêtres doivent être rangés parmi les établissements industriels où le travail présente la plus grande sécurité relative.

Ces considérations conduisent à signaler l'avantage que présenterait, pour la sécurité publique, l'organisation générale de la surveillance technique de tous les établissements industriels qui fabriquent, transforment ou emmagasinent des matières explosives ou détonantes. Tels sont les fabriques et dépôts de dynamite, fulminates, amorces, capsules, détonateurs, artifices, cartouches comprimées, mèches de sûreté, etc., tous établissements dont les conditions d'installation et de fabrication n'offrent généralement que d'insuffisantes garanties pour la sécurité du voisinage et des travailleurs.

Dès 1880, une commission, dite *Commission des explosifs*, avait été instituée sous la présidence du ministre du commerce, en vue de la préparation d'un *Projet de règlement général sur les explosifs* (arrêté du 20 mars 1880). Ce projet, arrêté le 19 juin 1882, concluait à la création d'une *inspection générale des explosifs* confiée, sous l'autorité du ministre du commerce, aux ingénieurs des poudres et salpêtres, et établie sur le modèle de l'inspection anglaise qui fonctionne en vertu de l'*Explosives Act* du 14 juin 1875.

Ces études ont été poursuivies par le Comité des arts et manufactures (*Projet de règlement sur les explosifs,* du 7 novembre 1888), sans aboutir, jusqu'à ce jour, à une réglementation générale.

Des événements récents ont appelé de nouveau l'attention des pouvoirs publics sur l'urgence des mesures que comportent la

Digitized by Google

surveillance et le contrôle de la fabrication et du commerce des explosifs. Dans cet ordre d'idées, la circulaire de M. le ministre de l'intérieur en date du 31 janvier 1893, qui a confié aux ingénieurs des poudres et salpêtres ou à leurs délégués la surveillance technique des fabriques d'artifices, doit sans doute être considérée comme un premier pas vers une solution définitive de la question.

Paris, 1er mars 1894.

Digitized by Google

NOTE

SUR LA

FABRICATION DU NITRATE D'AMMONIAQUE,

A LA RAFFINERIE NATIONALE DE LILLE;

PAR

M. MORIN,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres.

Depuis quelques années, et surtout depuis la publication du rapport de la Commission des substances explosives, qui a mis en évidence la température, relativement peu élevée, produite par la détonation des explosifs à base de nitrate d'ammoniaque, et, comme conséquence, la nécessité d'employer exclusivement des explosifs de ce genre dans les mines grisouteuses, le nitrate d'ammoniaque a pris une place importante dans la composition des explosifs industriels.

Le service des poudres et salpêtres a dû, par suite, installer la fabrication dudit sel dans l'un de ses établissements, et il a choisi pour cela la raffinerie nationale de Lille, voisine des poudreries d'Esquerdes (Pas-de-Calais) et de Sevran-Livry (Seine-et-Oise) où se font jusqu'ici les fabrications les plus importantes des nouveaux explosifs.

Procédé de fabrication. — Le procédé adopté par M. l'ingénieur en chef Faucher, chargé du service de la raffinerie au début de cette fabrication, comprend trois parties principales : la neutralisation directe de l'acide nitrique par une dissolution ammoniacale, la concentration à chaud des liqueurs, puis la cristallisa-

Digitized by Google

tion du nitrate par suite du refroidissement de la liqueur concentrée.

Choix des appareils et ustensiles. — La détermination du type des appareils et ustensiles convenant pour cette fabrication a présenté certaines difficultés en raison de l'impossibilité d'employer aucun des métaux usuels qui tous, même le plomb, sont rapidement attaqués par les dissolutions chaudes de nitrate d'ammoniaque. On a dû, par suite, pour tous les appareils exposés à des chocs ou à des variations considérables de température, et qui ne peuvent, par suite, être établis en verre ou en grès, adopter le fer ou la fonte émaillée, bien que ces derniers ne fassent pas encore un très long service. Ils résistent très bien tant qu'aucune fissure, aucun éclat ne s'est produit dans l'émail; mais cette couverte est fragile et il suffit d'une faible interruption dans l'enduit protecteur pour que le point mis à nu s'attaque rapidement.

Matières premières. — Lors des premiers essais, en 1890, on distillait dans un appareil à colonnes des eaux ammoniacales faibles provenant de dépôts de vidange ou d'usines à gaz de la région. Mais l'expérience ayant montré que les premières eaux conservaient toujours, quelque traitement préalable qu'on leur fît subir, une odeur en rendant l'emploi inadmissible dans un établissement situé au milieu d'une ville, on a été forcé d'y renoncer complètement. Quant aux secondes, elles ne peuvent être trouvées à proximité en quantités suffisantes et l'on a été ainsi conduit, afin de réduire les frais de transport, à prendre comme source d'ammoniaque la dissolution à 22° Baumé obtenue par la concentration des eaux ammoniacales faibles recueillies dans la distillation de la houille.

L'acide nitrique employé est, soit de l'acide jaune 36° acheté au commerce, soit des acides marquant 39° à 40° obtenus comme produits accessoires dans les poudreries où l'on fabrique l'acide nitrique 48°.

Mélange des matières. — Le mélange est opéré dans des vases en grès d'environ 200 litres où l'on siphonne d'abord l'acide

Digitized by Google

nitrique puis l'alcali après avoir, pour cette seconde partie de l'opération, recouvert le vase d'un dôme pour éviter la déperdition de l'ammoniaque. On modère l'élévation de la température en réglant le débit de l'alcali et en entourant les vases en grès d'un bac rempli d'eau.

Les liqueurs ainsi obtenues sont décantées dans des tonneaux en bois où, après refroidissement, on achève la neutralisation par une addition plus ou moins importante d'alcali.

C'est également dans ces tonneaux que l'on ajoute, s'il y a lieu, l'hydrate de baryte nécessaire à l'élimination de l'acide sulfurique que renferme parfois en petites quantités l'acide nitrique.

Concentration. — Après quelques heures de repos, pendant lesquelles s'opère la précipitation de divers produits insolubles, les liqueurs sont portées dans des chaudières en fonte émaillée de 200, ou mieux de 400 litres, de capacité, chauffées chacune par un foyer distinct.

Une période de chauffage d'environ vingt heures, pendant laquelle on alimente la chaudière d'abord avec des liqueurs neuves provenant des mélanges, puis avec des eaux mères restant d'opérations précédentes, amène la dissolution à marquer 35° à 36° à l'aréomètre Baumé.

Cristallisation. Turbinage. — La dissolution concentrée est décantée chaude dans des bacs en fonte émaillée où, par suite du refroidissement, le nitrate d'ammoniaque, beaucoup moins soluble à froid qu'à chaud, se dépose en abondance.

Avant le commencement de la cristallisation, on ajoute une petite quantité d'alcali (environ $\frac{1}{200}$ du volume de la liqueur) afin que les cristaux formés dans ce milieu alcalin ne puissent présenter aucune trace d'acidité. On agite de temps à autre pour éviter la formation de gros cristaux.

Le nitrate d'ammoniaque formé est essoré au moyen de petites turbines marchant à bras à une vitesse de 500 tours par minute et ramené ainsi à un taux d'humidité d'environ 2 pour 100. C'est dans cet état qu'il est emballé et expédié aux poudreries.

Lille, 3 février 1894.

Digitized by Google

DEUXIÈME NOTE

SUR LA

FABRICATION DE L'ÉTHER.

[Une note sur la préparation de l'éther à la fabrique de Bordeaux a été insérée dans le *Mémorial*(1); elle porte la date du 30 octobre 1890. Il a paru utile de la compléter par la description sommaire des modifications apportées depuis 1890 jusqu'à la fin de 1892 dans les procédés et les appareils; c'est l'objet de la note ci-après, qui est extraite d'une note plus étendue rédigée, sous la date du 25 février 1894, par M. Desmaroux, ingénieur en chef, directeur de la raffinerie de Bordeaux.]

Emploi de la vapeur d'éther brut dans le rectificateur. — La modification la plus importante introduite dans la fabrication de l'éther en 1892 consiste dans l'envoi direct de la vapeur d'éther brut dans le rectificateur. Du coup, on supprima le travail de condensation de cette vapeur et la dépense de vapeur nécessaire jusque-là pour la rectification.

Les vapeurs d'éther brut, après leur passage dans les bacs de neutralisation, ne se rendent plus dans les serpentins réfrigérants. Des tuyaux spéciaux, branchés sur l'ancienne canalisation, les conduisent dans le soubassement du rectificateur, où elles remplacent la vapeur d'eau.

Les 2 éthérificateurs fournissent par heure 600^{lit} d'éther brut contenant 200^{kg} d'éther pur; or, le rectificateur ne fonctionne convenablement que s'il débite 300^{kg} d'éther pur à l'heure : le déficit de 100^{kg} est comblé par l'apport sur le plateau d'alimentation de 300 autres litres d'éther brut qu'on a en réserve. Le ser-

(1) Tome IV, p. 32 et suiv.

Digitized by Google

vice de la fabrication est en conséquence réglé de la façon suivante. Pendant 4 heures, la salle d'éthérification fournit de l'éther brut comme autrefois. On met en marche la salle de rectification et, pendant 8 heures, tous les appareils fonctionnent simultanément. Après la période de 12 heures, tout étant épuisé, on recommence à produire de l'éther brut.

La chaleur dégagée par la condensation de l'eau et de l'alcool associés au produit principal dans l'éther brut suffit pour assurer le fonctionnement de la rectification, qui donne toujours à l'heure 300^{kg} à 325^{kg} d'éther pur. La tension intérieure s'est un peu relevée aux éthérificateurs, mais elle ne dépasse pas $0^{m},20$ de mercure.

Il importe au succès de la rectification que la température et, par suite, la tension ne croissent pas au delà de cette limite. Un tuyau spécial, qui prend origine sur le soubassement du rectificateur, au-dessus du liquide précipité, remonte, aboutit à un régulateur Savalle et de là se rend au réfrigérant de l'éthérificateur n° 1.

L'action du régulateur Savalle est renversée; la valve s'ouvre quand la pression intérieure s'élève. Dans ce cas, la vapeur d'éther brut en excès passe dans le réfrigérant, se condense et tombe dans l'éprouvette de coulage, et de là dans le bac à éther brut. C'est ce qu'on appelle le retour. — La quantité d'éther brut renvoyé par le rectificateur est évaluée, en moyenne, à 150^{lit} par heure, correspondant à 50^{kg} d'éther pur.

Depuis le mois de septembre 1892, l'emploi direct de la vapeur d'éther a continué sans interruption. Aucune difficulté ne s'est présentée.

L'économie réalisée par cette modification est représentée par la vapeur autrefois dépensée pour le fonctionnement du rectificateur : soit 145^{kg} de vapeur d'eau par heure; à quoi il faut ajouter les frais d'élévation de l'eau nécessaire autrefois à la condensation de l'éther brut. Le volume de cette eau était de 10^{mc}. La condensation de la vapeur d'éther en excès au rectificateur exigeant un emploi de 4^{mc}, de ce chef il y a une diminution de travail mécanique net de $6000 \times 30 = 180000^{kgm}$ par heure. On peut forcer l'élévation et admettre 1 cheval-vapeur à compter en moins au service des générateurs. Avec les machines à pilon à grande vi-

Digitized by Google

tesse, ce n'est pas trop d'allouer 20^{kg} de vapeur par cheval. La deuxième économie est donc de 20^{kg}. En tout, on a réduit la dépense de vapeur de 165^{kg} ou 24^{kg} de charbon à 7^{kg} de vapeur.

Le rectificateur donne 300^{kg} d'éther pur à l'heure; la moins-value de 24^{kg} de charbon représente 8^{kg} de charbon par 100^{kg} d'éther pur.

Alcools mauvais goût. — L'alcool constitue la matière première de la fabrication de l'éther. Sa valeur commerciale a la plus grande influence sur le prix de revient. A l'origine, on employait exclusivement les alcools dits *extrafins* de la place de Bordeaux, mais, depuis plus de deux ans, on a associé à ce produit supérieur des alcools mauvais goût de tête dans la proportion de $\frac{1}{5}$ du poids du mélange. Le bénéfice a pour base un écart d'environ 4^{fr} à 5^{fr} qui existe entre les deux qualités.

La fabrication s'est ressentie naturellement de cette innovation qui a diminué le rendement, sali les appareils d'éthérification et laissé parfois une odeur désagréable à l'éther. Une campagne de deux mois avec $\frac{1}{5}$ de mauvais goût doit être toujours suivie d'une période de 7 à 8 jours d'épuration à l'alcool extrafin. Les huiles, goudrons, sont expulsés jusqu'à l'exutoire du récupérateur d'alcool.

Dans ces conditions, la marche discontinue au $\frac{1}{5}$ de mauvais goût équivaut à une marche continue au $\frac{1}{6}$ seulement.

Admettant un écart de 5^{fr} par 100^{kg} entre les extrafins et les mauvais goût et prenant pour base un emploi de 130^{kg} d'alcool par 100^{kg} d'éther pur, l'économie réalisée est de $\frac{5 \times 130}{100 \times 6} = 1^{fr},10$ par 100^{kg} d'éther à 65°.

Revêtements calorifuges. — En novembre 1892, des revêtements calorifuges en cellulose minérale ont été appliqués sur les éthérificateurs et le récupérateur à alcool. L'influence de ces matelas a été avantageuse, mais on n'a pu la faire ressortir nettement que pour les éthérificateurs.

En travail discontinu de 12 heures, le coulage de l'éthérificateur ne commence le matin que 30 minutes après l'ouverture du robinet de vapeur des serpentins. Le soir, après la débauchée, le coulage continue pendant la nuit et donne de l'éther brut. De-

Digitized by Google

puis la pose des revêtements, le coulage avance de 15 minutes le matin et celui du soir fournit un supplément de 75^{lit} d'éther brut. Deux éthérificateurs donnent en 1 heure 600^{lit} d'éther brut et dépensent 400^{kg} de vapeur d'eau. L'économie réalisée est, en définitive, de 300^{lit} d'éther brut, dont 150^{lit} le matin et 150^{lit} le soir. Autrefois, ces 300^{lit} correspondaient à une dépense de 200^{kg} de vapeur, soit 30^{kg} de charbon par jour ou pour 2400^{kg} d'éther pur, soit 1^{kg},25 par 100^{kg}.

L'influence diurne des revêtements en général est appréciée par cette observation que, en 17 heures, l'usine, qui produisait 3200^{kg} d'éther pur, en donna 3400^{kg} après la pose des revêtements sans plus de dépense de charbon : le bénéfice de 200^{kg} d'éther pur emmagasiné. De là une économie de 150^{kg} de charbon, soit, par heure, environ 9^{kg} de charbon ou 63^{kg} de vapeur.

Les tuyaux de conduite de vapeur ont été protégés contre le refroidissement par la même substance. Dans ce cas particulier, l'influence est très atténuée. La cellulose minérale a une conductibilité qui se rapproche de celle des métaux. On constate à la main, et par comparaison avec d'autres revêtements, une chaleur périphérique assez élevée. L'accroissement de la surface de refroidissement doit, en très grande partie, compenser la chute de température. Si la propriété d'être incombustible n'était pas la première condition d'emploi, d'autres substances, le liège, les feutres, les mastics, seraient préférables.

Fermeture des bacs à éther. — Les tensions des vapeurs d'éther croissent rapidement avec la température, ainsi que le montre le tableau ci-dessous :

Éther à 35°	1	atmosphère
» 55°	2	»
» 70°	3	»

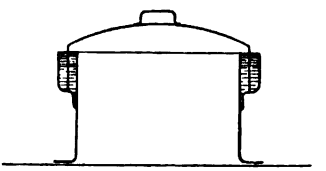
Il était donc important de préserver les réservoirs de forme parallélépipédique de tout excédent de pression dû à une élévation de température en été.

Pour les petits réservoirs à éther brut et les réservoirs à alcool, on s'est borné à une fermeture hydraulique très simple. De plus,

Digitized by Google

on a percé dans la partie convexe du couvercle (*fig.* 1) un trou de 1^{cc} de diamètre pour l'échappement des vapeurs. On a évité,

Fig. 1.

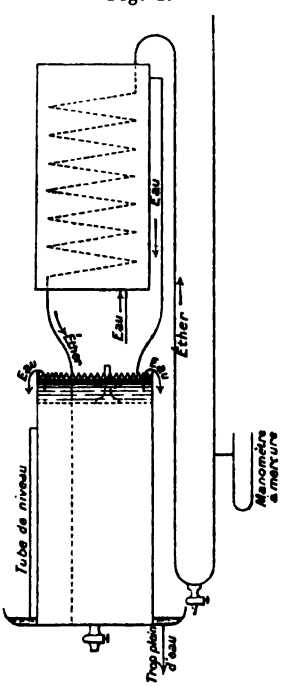


Trou d'homme avec joint hydraulique.

par ce moyen, la chasse de l'eau qui remplissait le canal obturateur.

Dans les grands réservoirs à éther pur, des précautions minutieuses étaient commandées par la plus grande volatilité de la

Fig. 2.



substance et l'importance pécuniaire des pertes par évaporation.

Les bacs à éther sont fermés hermétiquement, mais, en été, une canalisation permet d'arroser leur surface avec de l'eau à 15°.

Digitized by Google

Ce moyen, des plus efficaces, est complété par un appareil de condensation fondé sur le principe de la paroi froide.

Un tuyau de $0^m,01$ de diamètre intérieur (*fig.* 2) met en communication la capacité intérieure des bacs à éther avec un serpentin refroidi par un courant d'eau à 15°. La vapeur d'éther se condense et tombe dans un réservoir qui contient déjà une provision d'alcool et que refroidit extérieurement l'eau du trop-plein du récipient supérieur. L'éther se dissout dans l'alcool et peut être soutiré quand son niveau est trop élevé.

Le cas d'une élévation brusque de pression dans les bacs à éther en cours de remplissage est prévu. Le tuyau qui réunit le serpentin aux bacs à éther est courbé en siphon, et sur l'une des branches verticales on a brasé un tube en-U contenant du mercure. C'est une soupape de sûreté qui cède à une plus-value légère de la pression.

L'appareil de condensation des bacs à éther fonctionne assez rarement; c'est à peine si, dans le cours d'une semaine et par des températures de 38°, on récolte quelques litres d'éther liquide. La tenue de la pression à l'intérieur des bacs est assurée suffisamment par l'arrosage à l'eau des parois extérieures.

Tuyau plongeur d'alimentation des bacs à éther. — L'éther pur passe de l'éprouvette de coulage du rectificateur, directement et par simple différence de niveau dans les grands bacs du magasin. La tuyauterie est pourvue de robinets disposés de telle façon que l'écoulement se fait dans tel ou tel bac. Autrefois, le tuyau d'alimentation débouchait dans la capacité intérieure par un ajutage très court et l'éther tombait de haut, soit sur le fond métallique, soit sur le niveau du liquide. Ce dispositif favorisait la formation des vapeurs d'éther et, par suite, les pertes du produit. On a prolongé, dans l'intérieur du bac le tuyau d'alimentation qui ne s'arrête qu'à $0^m,05$ du fond. Quand le bac est absolument vide, il y a encore choc de la veine liquide contre les parois, mais, dès que le niveau s'élève, l'orifice noyé ne donne plus lieu qu'à des mouvements giratoires. Cette disposition nouvelle est considérée comme très utile à l'élimination des pertes.

Chaque bac à éther porte un orifice saillant en trou d'homme, fermé par un couvercle boulonné sur la bride de l'orifice. Le cou-

Digitized by Google

vercle porte une soupape de sûreté calée à $\frac{1}{10}$ d'atmosphère. Quand le bac reçoit de l'éther, l'air confiné s'échappe par la soupape.

Coupage d'éther à 65°. — L'éther à 65° est le produit direct de la fabrication, mais il faut réduire son degré soit à 56°, soit à 52° pour l'expédition aux poudreries consommatrices. C'est l'opération du coupage.

Le magasin à éther contient deux bacs à éther à 65° de 240^{hlit}, et un bac à alcool à 95° de 80^{hlit}. Nous avons dit comment les bacs à éther étaient directement alimentés par l'éprouvette de coulage du rectificateur. Le troisième bac est approvisionné par une canalisation issue du magasin à alcool et dans laquelle l'alcool est refoulé par une petite pompe *Westington*. Les 3 bacs portent chacun une tubulure de vidange fixée sur la paroi verticale antérieure et à quelques centimètres du fond; les 3 tubulures pourvues de robinets communiquant avec un tuyau collecteur unique, sur lequel est brasé un ajutage qu'on coiffe d'un tube en caoutchouc flexible.

Le jeu de robinets permet de faire couler par le tube en caoutchouc soit l'éther, soit l'alcool de l'un ou l'autre bac.

Le fût métallique à remplir est placé sur une balance-bascule et taré. On laisse couler l'éther ou l'alcool par le tuyau en caoutchouc jusqu'à ce qu'un poids déterminé d'avance soit atteint. L'abaissement du bras de la romaine indique le moment avec précision.

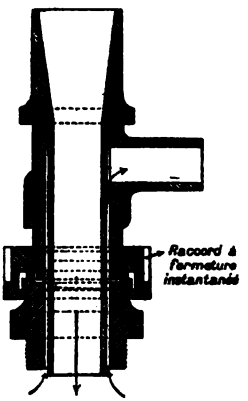
A l'origine, le remplissage des fûts n'était l'objet d'aucune précaution particulière. Les liquides, alcool ou éther, coulaient librement par la bonde des fûts. On s'aperçut rapidement que les pertes par évaporation étaient notables et pouvaient atteindre 4^{kg} pendant la prise de 182^{kg} d'éther.

Une disposition nouvelle a supprimé un déchet aussi important. Sur la bonde d'un fût métallique (*fig.* 3) on visse un raccord en bronze. L'extrémité libre du tube en caoutchouc est pourvue d'un raccord aussi en bronze et portant un écrou flottant et évidé. Les deux raccords sont appliqués l'un sur l'autre et serrés à la main au moyen de l'écrou. Le mouvement est presque instantané; le serrage ne résultant pas d'un vissage à fond, mais du glissement de deux ergots en plan inçliné sur deux saillies de la surface cylindrique de l'autre raecord.

Digitized by Google

Avec un mode de fermeture aussi hermétique, l'air confiné dans le fût métallique doit traverser la veine liquide et, par suite, re-

Fig. 3.



Bonde pour le remplissage
des fûts d'éther.

tarder l'écoulement. On a assuré toute liberté de mouvement à l'éther en ménageant, dans le raccord fixé au tube de caoutchouc, une gaine prolongée par un ajutage latéral et un tube en caoutchouc qui conduit l'air chassé des fûts à une petite canalisation fixe aboutissant au sommet des bacs. Un jeu de robinets établit la communication avec une quelconque des trois capacités.

Depuis, l'écoulement de l'éther et de l'alcool est devenu permanent et sans obstacle.

Le remplissage consécutif de plusieurs fûts a pour conséquence d'élever la pression intérieure du bac que l'on vide.

La plus-value peut être égale à la pression de l'éther à la température à laquelle on opère. Il suffit que l'air extérieur soit à 35° pour que la pression monte dans le bac à 2 atmosphères. La soupape de sûreté placée sur le couvercle du trou d'homme remplit, dans ce cas, son rôle de sécurité.

Bordeaux, 1894.

Digitized by Google

NOTE

SUR

L'EMPLOI DE L'AIR COMPRIMÉ

POUR LE

TRANSPORT DES ACIDES;

PAR

M. DALSACE,

Sous-ingénieur des poudres et salpêtres.

La fabrication du coton-poudre entraîne la manipulation de quantités considérables d'acides. 1^{kg} de coton-poudre de guerre emporte avec lui 7^{kg} environ du mélange des acides nitrique et sulfurique qui ont servi à transformer la cellulose en nitrocellulose. De ces 7^{kg}, on extrait par essorage $5^{kg},5$ environ d'un mélange auquel on donne le nom de *vieux acides;* ces vieux acides sont réemployés à leur tour, soit pour la production de cotons-poudres ayant un taux de nitrification moins élevé, soit pour la fabrication de l'acide nitrique. En résumé, pour chaque kilogramme de coton-poudre, on a à manipuler : 1° 7^{kg} d'acides neufs nécessaires à la nitrification; 2° $5^{kg},5$ de vieux acides, soit au total $12^{kg},5$ de mélange acide. Pour une fabrication quotidienne de 4000^{kg} de coton-poudre, c'est un poids de $50\,000^{kg}$ d'acides à manipuler chaque jour.

Si l'on considère que ces acides doivent être mélangés suivant certaines proportions; que le mélange, après avoir été convenablement brassé dans des vases *ad hoc,* est envoyé ensuite dans d'autres récipients pour s'y refroidir; qu'il doit être, de là, distribué dans des réservoirs placés à côté des auges de trempage où le

Digitized by Google

coton est mis en contact avec les acides destinés à le nitrifier; qu'enfin, après l'essorage, les vieux acides doivent, pour être réemployés, parcourir des distances horizontales et verticales souvent considérables, on comprendra que le transport des acides est une des questions importantes qui se posent lors de l'installation d'une fabrique de coton-poudre.

A la poudrerie du Moulin-Blanc, on a pu, grâce aux différences de niveau des divers ateliers, se contenter, en général, d'utiliser simplement la pesanteur pour l'écoulement des acides. Les mélanges d'acide, faits à un étage, coulent dans des vases de refroidissement placés au-dessous, puis, de là dans les auges disposées encore en contre-bas. De même, les turbines essoreuses sont placées à un étage plus élevé que les récipients dans lesquels on reçoit les vieux acides extraits du coton-poudre. Ce n'est qu'alors qu'on est obligé de les recueillir dans des touries et de les remonter dans les ateliers où ils doivent être réemployés.

A la poudrerie d'Angoulême, il eût été difficile, avec le terrain dont on disposait, de procéder de la même manière; de plus, la main-d'œuvre étant beaucoup plus chère qu'au Moulin-Blanc, on avait intérêt à réduire autant que possible l'intervention de l'ouvrier. Ces diverses considérations ont conduit à adopter l'air comprimé comme moyen de transport.

Nous allons indiquer brièvement comment les installations ont été comprises, en général, et nous insisterons en particulier sur celle qui a été réalisée pour élever les vieux acides provenant du turbinage, et qui est basée sur un principe peut-être peu connu.

1° *Vidange des touries dans les vases mélangeurs.* — Les acides sulfurique et nitrique, achetés à l'industrie ou fabriqués sur place, sont contenus dans des touries de grès ou de verre. Pour vider le contenu d'une tourie dans un vase mélangeur, on adapte sur le goulot un bouchon en caoutchouc percé de deux trous; on fait arriver par l'un d'eux l'air comprimé au moyen d'un simple soufflet, tandis que l'autre reçoit un siphon qui pénètre dans le vase mélangeur.

2° *Vidange des vases mélangeurs dans les vases de refroidissement.* — On procède ainsi qu'il vient d'être expliqué, mais

Digitized by Google

en employant de l'air comprimé par des appareils spéciaux.

Les compresseurs en usage à Angoulême ont été fournis en 1887 par la maison Buffaut et Robatel, de Lyon.

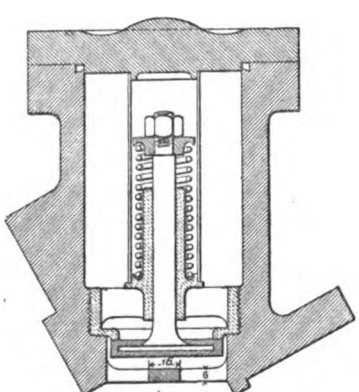
Un compresseur se compose essentiellement d'un cylindre à double enveloppe muni d'un piston et de clapets; l'air pénètre d'un côté du piston, pendant que l'autre face comprime l'air précédemment admis dans le cylindre, l'amène à une pression déterminée, puis le refoule, à cette pression, dans un réservoir où l'air comprimé s'emmagasine.

L'espace compris entre les deux enveloppes est parcouru par un filet d'eau destiné à refroidir le cylindre; un autre filet d'eau, passant dans le cylindre lui-même, remplit le double but de lubrifier les parties frottantes et de refroidir l'air comprimé (1).

Les clapets d'aspiration constituent la partie délicate de l'appareil; aussi n'est-il pas inutile de signaler les défectuosités qu'ils présentaient à l'origine et la façon dont on y a remédié.

Dans l'appareil tel qu'il avait été livré par la maison Buffaud et

Fig. 1.
Coupe.



A.

Échelle ½ grandeur d'exécution.

Robatel, le clapet (*fig.* 1) venait buter contre une traverse A venue de fonte avec le fond du cylindre.

Au bout de quelque temps de marche, l'une de ces traverses

(1) On emploie de l'air comprimé à 2,5 ou 3 atmosphères; la compression élève sa température d'environ 100°.

Digitized by Google

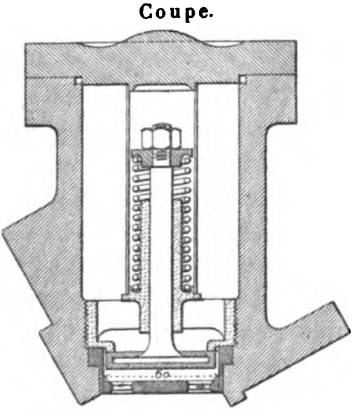
fut cassée sous les chocs répétés du clapet. Les débris, tombés dans le cylindre, furent rencontrés par le piston et il en résulta un choc violent qui occasionna de graves avaries (rupture de la poulie de commande, du palier venu de fonte avec le bâti, torsion de la manivelle, arrachement de la tige du piston, etc.).

On remplaça la traverse cassée par une traverse en acier dont les extrémités venaient s'insérer dans des évidements qu'on pratiqua dans le fond du cylindre; pour cela, la barrette fut courbée, puis mise à chaud et redressée. Malgré le soin apporté à ce travail, le même inconvénient se reproduisit peu de temps après; la rupture de la traverse n'entraîna pas de conséquences, le conducteur des machines ayant pu débrayer immédiatement l'appareil.

Afin d'empêcher le retour de ces accidents, on remplaça la tra-

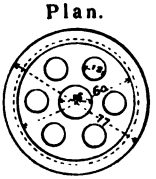
Fig. 2.

Coupe.



Échelle $\frac{1}{4}$ grandeur d'exécution.

Plan.



verse par une petite boîte en bronze percée de trous et encastrée dans la tubulure d'aspiration (*fig.* 2). Depuis que cette modifi-

Digitized by Google

cation a été faite, le fonctionnement du clapet n'a plus donné lieu à aucun inconvénient.

La poudrerie d'Angoulême possède deux compresseurs Buffaud et Robatel, dont l'un suffit, en temps ordinaire, à produire l'air comprimé nécessaire au transport des acides. Chaque appareil peut comprimer par heure, à 3 atmosphères, un volume de 40^{mc} d'air atmosphérique.

La vidange d'un vase mélangeur contenant 150^{kg} de mélange acide exige environ deux minutes.

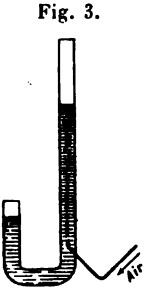
3° *Vidange des vases de refroidissement dans les auges réservoirs.* — Les vases de refroidissement sont placés à un niveau plus élevé que les auges dans lesquelles les mélanges acides se déversent par une tuyauterie en fonte.

4° *Transport des vieux acides venant des turbines essoreuses.* — Les acides expulsés du coton-poudre par le turbinage s'écoulent par une tuyauterie en fonte dans un récipient placé en contre-bas des essoreuses.

Il faut ensuite les relever à une hauteur de 4^{m} à 5^{m}, suffisante pour qu'une canalisation puisse les amener soit à la fabrique d'acide nitrique, soit au parc aux vieux acides. Ce résultat est obtenu au moyen d'appareils dits *émulseurs,* qui ont été empruntés aux établissements Kuhlmann, de Lille.

Le fonctionnement de l'émulseur repose sur le principe sui-

Fig. 3.



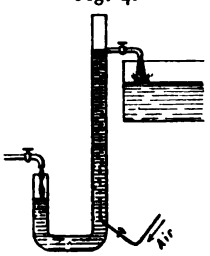
vant. Lorsqu'un liquide (de densité ou plutôt de viscosité convenable) est enfermé dans un tuyau en forme de siphon renversé à branches inégales et ouvert à ses deux extrémités (*fig.* 3), si l'on insuffle de l'air par un trou percé au bas de la branche la plus

Digitized by Google

longue, on émulsionne le liquide contenu dans cette branche; il se forme, entre le liquide et les bulles d'air, un mélange intime dont la densité moyenne est inférieure à celle du liquide non émulsionné, et l'on voit le niveau du liquide émulsionné dépasser notablement le niveau du liquide à l'état naturel.

Si l'on fait arriver par le haut de la courte branche un courant continu de liquide, venant par exemple d'un réservoir (*fig.* 4),

Fig. 4.



on obtient dans la longue branche un courant également continu de liquide émulsionné qu'on peut faire déverser dans un réservoir établi à un niveau supérieur au premier.

Tel est le fait d'expérience sur lequel repose le fonctionnement de l'appareil; y a-t-il simplement émulsion, ou ne faut-il pas supposer plutôt qu'il y a transmission de force vive et que l'appareil pourrait monter des quantités très faibles, il est vrai, même de liquides lourds et sans viscosité comme le mercure? Nous l'ignorons, et l'inventeur de l'appareil semble l'ignorer lui-même.

Il y a donc intérêt à indiquer exactement les données auxquelles une longue expérience a conduit.

La petite branche doit avoir une longueur de $\frac{3}{5}$ *à* $\frac{1}{2}$ *de la grande branche*. En d'autres termes, pour élever le liquide de 5^m, il faudra d'abord le descendre de $2^m,50$ à 3^m. L'appareil fonctionnera d'autant mieux que la longueur de la partie descendante sera plus grande.

A Angoulême, le bac supérieur est à 4^m, en chiffres ronds, au-dessus du bac inférieur (*fig.* 5). En tenant compte de la hauteur des bacs, la distance verticale à faire franchir aux acides varie de 4^m à 5^m, suivant que le bac inférieur est plein ou presque vide. D'après la règle énoncée ci-dessus, la longueur de la petite branche doit être de $2^m,50$ à 3^m; elle a 3^m.

Digitized by Google

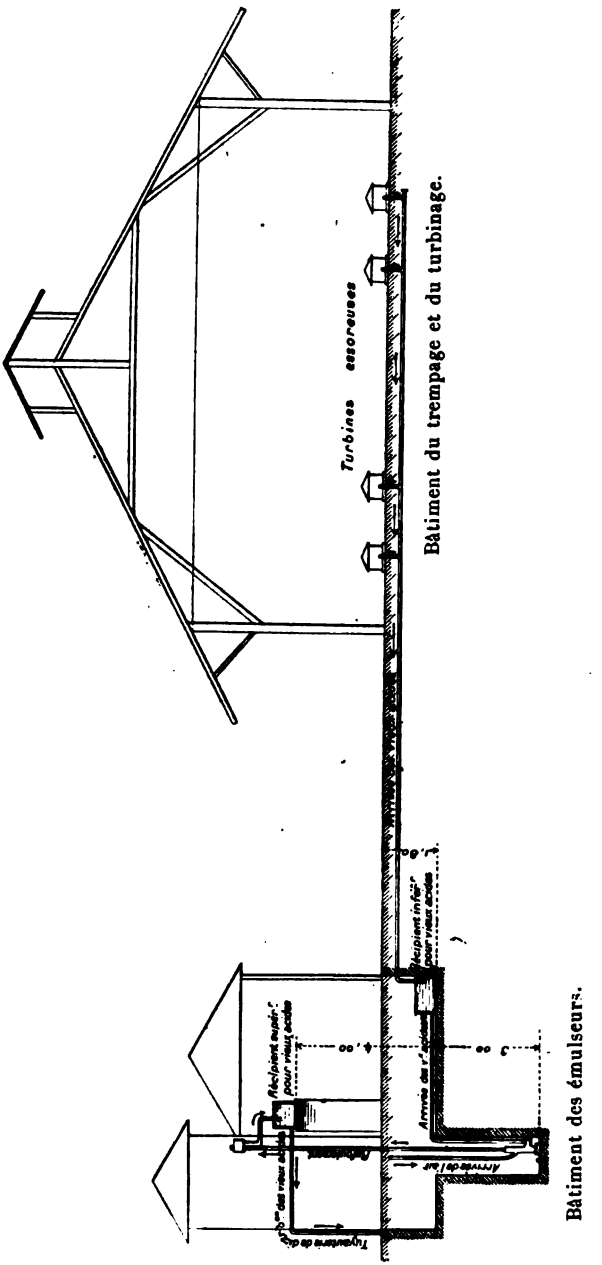


Fig. 5.

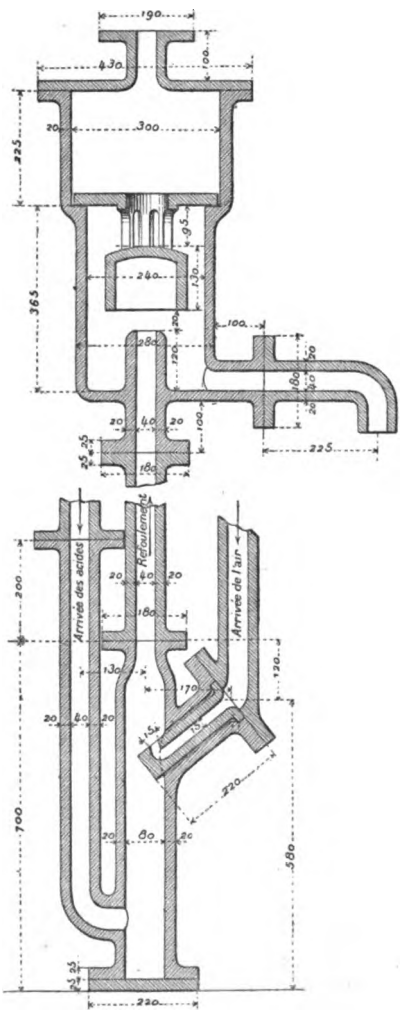
Les tuyaux d'arrivée et de refoulement des acides formant les

Digitized by Google

deux branches du siphon ont $0^m,04$ de diamètre intérieur; à la partie inférieure de la grande branche, ce diamètre est de $0^m,08$.

Fig. 6.

Coupe sur un émulseur.



(Échelle $\frac{1}{10}$).

La conduite d'air comprimé est en fer creux de $0^m,03$ de diamètre et peut supporter une pression de 9 atmosphères; à son arrivée

Digitized by Google

dans la grande branche de l'émulseur, son diamètre est réduit à $0^{m},015$.

La *fig.* 6 indique d'ailleurs les détails de l'appareil, qui est placé dans un puits foré dans le sol.

Pour empêcher que le liquide ne déborde par le haut du tuyau de refoulement, on a disposé à sa partie supérieure un appareil dit *coup d'air,* consistant en une cloche qui arrête le jet du liquide; en outre, cette cloche se soulève sous la pression des vapeurs nitreuses qui vont ensuite se dégager dans l'atmosphère.

L'air est comprimé par le compresseur à 2^{kg}; la longueur de la conduite est de 150^{m} environ; la perte de charge est de $0^{kg},5$.

Un émulseur installé dans ces conditions peut élever par heure, à 4^{m} ou 5^{m} de hauteur, environ 800^{kg} de vieux acides de 1,6 à 1,7 de densité.

Le rendement de l'appareil est très faible; évaluons-le approximativement. Pour marcher dans de bonnes conditions, on ne peut demander à un compresseur que l'air nécessaire au fonctionnement de deux émulseurs et à la vidange de trois vases mélangeurs.

Les deux émulseurs élèvent à l'heure 1600^{kg} d'acides à 5^{m} au maximum; le travail produit est de 8000^{kgm}, ci.....	$8\,000^{kgm}$
Trois vases mélangeurs contiennent 450^{kg} de mélange acide qu'on élève à 2^{m} environ; en admettant qu'on fasse 30 opérations à l'heure, le travail produit est de $450 \times 2 \times 30$...	27 000
Le travail total est de.....	$35\,000^{kgm}$

Un compresseur exigeant une force d'environ 6 chevaux, le travail moteur à l'heure est égal à

$$6 \times 75 \times 3600 = 1\,620\,000^{kgm},$$

le rendement est par suite égal à

$$\frac{35\,000}{1\,620\,000} = 0,02.$$

Ce chiffre n'est, bien entendu, que très approximatif; mais, tel qu'il est, nous avons jugé utile de l'indiquer pour montrer qu'un appareil peut rendre de grands services, même avec un rendement excessivement faible.

Digitized by Google

C'est le cas des compresseurs et des émulseurs; ces appareils sont, en effet, d'une utilité incontestable, et, à côté du rendement mécanique, il est bon d'examiner quel est le rendement que nous appellerons industriel.

En reprenant les chiffres donnés plus haut, on voit que l'emploi d'un compresseur évite la manipulation par heure de 1600^{kg} de vieux acides; à l'atelier des mélanges on fait en général quatre mélanges par heure et par vase mélangeur, ce qui représente 600^{kg} de mélange acide, soit 3000^{kg} pour les cinq vases de l'atelier. On aurait donc à manipuler

$$1600 + 3000 = 4600^{kg} \text{ par heure.}$$

Sans l'air comprimé il faudrait recueillir ces acides dans des touries, les élever à la hauteur voulue et les vider dans des récipients. Ce travail exigerait une brigade de vingt hommes environ, et, en prenant pour base le prix moyen de 0^{fr},43 l'heure, entraînerait une dépense horaire de 8^{fr},60. Ne tenons pas compte de la casse de touries qu'occasionnerait ce travail, de l'usure des appareils nécessaires pour élever les acides, des dangers de ces manipulations et des conséquences qu'elles peuvent entraîner (indemnités pour maladies ou pour accidents) et bornons-nous à cette dépense de 8^{fr},60.

Quelle dépense faut-il mettre en regard pour l'emploi des compresseurs et des émulseurs?

Les compresseurs sont installés dans la salle des machines du groupe Saint-Pierre; leur surveillance n'entraîne aucune dépense. Les émulseurs sont installés dans un bâtiment voisin du turbinage; il suffit, pour les faire fonctionner, d'ouvrir le robinet qui met le réservoir d'air comprimé en communication avec l'émulseur. Donc, pas de dépense de surveillance.

Les dépenses d'entretien sont presque nulles pour les émulseurs et insignifiantes pour les compresseurs. Quant à la dépense pour la force motrice, en tenant compte de la dépense en combustible, graissage, réparations, éclairage, conduite, surveillance, etc., on arrive pour le cheval-heure à un prix d'environ 0^{fr},20. Un compresseur exigeant une force d'environ 6 chevaux dépensera 1^{fr},20.

Dans ces conditions, l'économie est de 7^{fr},40 par heure et de

Digitized by Google

177^{fr},60 par journée de 24 heures (la fabrication du coton-poudre exigeant le travail continu de jour et de nuit.)

Indiquons, pour terminer, le prix d'achat des appareils :

	fr
Compresseur	3800
Réservoir d'air comprimé	330
Conduite d'air comprimé, le mètre	2,70
Émulseur	360
Frais de brevet, somme une fois payée pour tous appareils du même genre pouvant être achetés ultérieurement	2000

Angoulême, 10 février 1894.

Digitized by Google

FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE

DANS LES ÉTABLISSEMENTS

DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES.

Le service des poudres et salpêtres a dû pourvoir, à partir de l'année 1886, à la fabrication de quantités de coton-poudre de beaucoup supérieures à celles qu'il avait produites pendant les années précédentes, et, pour satisfaire à ces nouveaux besoins, il avait à faire usage de quantités très considérables d'acide nitrique 48° et d'acide sulfurique 65°,5 à 66° : les acides neufs qu'il avait demandés jusque-là au commerce, soit par adjudications publiques, soit par marchés de gré à gré, n'étaient obtenus qu'à des prix très élevés (le prix du dernier achat fait par le Moulin-Blanc est de 95^{fr} les 100^{kg} pour l'acide nitrique 48° et de 13^{fr} les 100^{kg} pour l'acide sulfurique), tandis que les mélanges acides, résidus de la préparation du coton-poudre, ne trouvaient preneur, quand ils étaient mis en vente par le domaine, qu'à des prix extrêmement bas; l'augmentation prévue dans la production du coton-poudre devait nécessairement entraîner l'accroissement du prix des acides neufs et l'avilissement du prix des acides résidus, et par suite conduire finalement à une plus-value importante dans le prix de revient du coton-poudre; l'étude des mesures à prendre pour réaliser la production de cette dernière matière dans de meilleures conditions de prix s'imposait donc aux ingénieurs, et la première de ces mesures consistait évidemment à se procurer les acides à plus bas prix. La question de l'acide nitrique, qui était la plus importante, fut traitée la première, et l'installation d'une fabrique de cet acide dans les poudreries chargées de produire le coton-poudre fut immédiatement décidée.

Mais il importait de réaliser cette installation avec le minimum de frais de premier établissement : aussi les ingénieurs chargés de préparer les projets furent-ils assujettis à la double condition d'utiliser des bâtiments existants, afin d'éviter des constructions coûteuses, et d'employer des ap-

Digitized by Google

pareils à la fois simples et appropriés aux locaux dont ils pouvaient disposer.

Les deux notes qui suivent font connaître la solution adoptée dans la poudrerie du Moulin-Blanc et dans celle d'Angoulême, et rendent compte des résultats obtenus : le même système d'appareils a été appliqué dans les deux établissements ; il comporte l'emploi, pour la condensation, de bonbonnes superposées suivant la disposition imaginée vers 1861 par Doven et Plisson et recommandée par M. Aimé Girard dans son Dictionnaire de chimie industrielle.

Le rapprochement des deux notes, qui fait ressortir les différences des deux installations, montre que ce système s'est prêté à l'utilisation facile et peu coûteuse d'anciens bâtiments devenus disponibles dans les deux poudreries; il fait connaître aussi les prix de revient obtenus de deux parts et permet d'apprécier l'importance des bénéfices réalisés au profit du trésor.

LE COMITÉ DE DIRECTION.

I.

NOTE SUR LA FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE

A LA POUDRERIE DU MOULIN-BLANC;

PAR

MM. MAISSIN et GUINOT,

Ingénieurs des poudres et salpêtres.

Historique. — L'acide nitrique à 48° B., nécessaire à la fabrication du coton-poudre à la poudrerie du Moulin-Blanc, a été, jusqu'en 1887, acheté dans le commerce.

Mais les fabricants, assez peu nombreux, de cet acide en demandaient un prix très élevé, justifié d'ailleurs, en grande partie, par l'importance des frais de transport, sur voie ferrée, jusqu'au Moulin-Blanc. — Ces frais sont, en effet, considérables, à cause

Digitized by Google

des précautions spéciales qu'exige l'acide nitrique concentré et des dangers d'incendie qu'il présente.

Toutefois, pendant les premières années de la fabrication au Moulin-Blanc, le peu d'importance et l'incertitude des commandes de coton-poudre n'avaient pas permis de faire aboutir la question de la construction d'une fabrique d'acide nitrique.

Mais une question secondaire s'était présentée d'elle-même : celle de la possibilité de substituer à l'acide sulfurique, dans la fabrication de l'acide nitrique concentré, les acides résiduaires, ou vieux acides, qui proviennent du trempage du coton, et contiennent, mélangée à de l'acide nitrique, une forte proportion d'acide sulfurique.

Ces vieux acides, produits en grande proportion dans la fabrication du coton-poudre, n'avaient qu'une valeur commerciale à peu près nulle et ne trouvaient guère d'acheteurs à des prix supérieurs à 2^{fr} les 100^{kg}. — La question de la possibilité de leur emploi pour la fabrication de l'acide nitrique à 48° avait donc, au point de vue de la réduction du prix de revient, une importance considérable.

M. l'ingénieur Maissin, à la suite d'une mission en Angleterre, en 1882, ayant signalé cet emploi des vieux acides comme pratiqué industriellement à la fabrique de coton-poudre de Faversham, et, d'autre part, les résultats d'essais de laboratoire faits au Moulin-Blanc, en 1885, par M. l'ingénieur Louppe, ayant paru vérifier l'exactitude de ce renseignement, le ministre de la guerre autorisa, le 28 mars 1885, l'installation, à titre d'essai, d'une cornue de distillation capable de recevoir 1000^{kg} de matières.

Les essais poursuivis pendant plusieurs mois au moyen de cet appareil montrèrent d'une façon bien nette que les vieux acides pouvaient, dans une fabrication industrielle, produire de l'acide nitrique concentré tout aussi bien que l'acide sulfurique. Le rendement en acide 48° constaté par M. l'ingénieur Louppe était, avec l'acide sulfurique, 79,0, et avec les vieux acides, 78,5 pour 100 de nitrate de soude sec employé.

En présence de ces résultats, la construction d'une fabrique d'acide nitrique s'imposait. A ce moment d'ailleurs, la fabrication du coton-poudre allait prendre une extension considérable, entraînant la consommation d'environ 4000^{kg} d'acide nitrique par

Digitized by Google

jour, dont l'approvisionnement régulier, par les fabriques existantes, eût été presque impossible.

La fabrique actuelle, dont la construction fut entreprise en 1886, commença à fonctionner dès les premiers mois de 1887.

Théorie de la fabrication. — Avant d'entrer dans les détails de l'installation, nous rappellerons brièvement les principes de la fabrication.

L'acide nitrique est obtenu industriellement par la réaction de l'acide sulfurique sur le nitrate de soude, qui donne de l'acide nitrique et du bisulfate acide de soude, conformément à la formule

$$NaO, AzO^5 + 2(SO^3HO) = NaO.HO, 2SO^3 + AzO^5.HO.$$

Il est nécessaire d'employer 2 équivalents d'acide sulfurique. — Si, en effet, on faisait agir un seul équivalent de cet acide, il arriverait que, par suite de la formation du bisulfate acide qui a lieu à une température relativement basse, la moitié seulement du nitrate serait d'abord décomposée. Il faudrait alors élever la température pour faire réagir le bisulfate sur le nitrate et obtenir ainsi du sulfate neutre, mais alors l'acide nitrique mis en liberté serait décomposé par la chaleur en acide hypoazotique et oxygène et l'on n'obtiendrait en réalité qu'un demi-équivalent d'acide nitrique. On supprime cette seconde phase de l'opération en faisant agir sur le nitrate une quantité d'acide sulfurique suffisante pour déplacer directement tout l'acide nitrique en formant du bisulfate.

On emploie pour cela 96 d'acide sulfurique pour 85 de nitrate, et l'on obtient théoriquement 63 d'acide nitrique monohydraté, soit 74 pour 100 du poids de nitrate, maximum du rendement possible.

L'acide sulfurique est remplacé au Moulin-Blanc, comme nous l'avons dit, par les vieux acides produits dans la fabrication du coton-poudre. La composition moyenne de ces vieux acides est actuellement :

$SO^3.HO$	75
$AzO^5.HO$	12
Vapeurs nitreuses	1
HO, etc	12
	100

Digitized by Google

On doit donc, sur 85 de nitrate de soude, faire réagir 128 de ces vieux acides, soit une fois et demie le poids de nitrate.

En pratique, pour un chargement de 625^{kg} de nitrate de soude brut, correspondant à 600^{kg} de nitrate pur, on emploie, au lieu de 900^{kg}, 960^{kg} de vieux acides (12 touries de 80^{kg}). Ce léger excédent est destiné à tenir compte des variations possibles dans la composition des vieux acides et offre d'ailleurs l'avantage, en assurant la liquéfaction complète du bisulfate à la fin de l'opération, d'en faciliter l'extraction.

En tenant compte de l'acide nitrique contenu dans les vieux acides et qui passe à la distillation avec celui qui provient de la décomposition du nitrate, le rendement théorique de l'opération est donc de 93 d'acide nitrique monohydraté pour 100 de nitrate de soude.

Conditions de réception du nitrate de soude. — Le nitrate de soude employé pour la fabrication de l'acide nitrique au Moulin-Blanc est acheté au commerce par voie d'adjudication. Il est reçu au titre de pur, d'après la proportion de NaO, AzO^5 qu'il contient. Le taux d'acide nitrique anhydre, AzO^5, doit d'ailleurs être supérieur à 60 pour 100 (ce qui correspond à 94,4 de NaO, AzO^5).

Le nitrate doit être en petits cristaux et ne pas contenir plus de 2 pour 100 de matières insolubles, ni plus de 4 pour 100 d'humidité.

Sa contenance en chlorure, évalué en chlorure de sodium, ne doit pas dépasser 1 pour 100. Cette dernière condition a une assez grande importance, car si le nitrate contenait une trop forte proportion de chlorure, les dégagements de chlore qui se produiraient dans le cours de la fabrication de l'acide nitrique rendraient les ateliers absolument inhabitables.

Les échantillons de nitrate destinés à l'analyse sont prélevés de la façon suivante :

Au moment de la mise en magasin, on prend en différents points de chaque sac ou baril, de petites quantités dont on forme un échantillon partiel par 2500^{kg} de matière reçue. Chaque jour et pour chaque quantité de 2500^{kg}, au maximum, on forme un type moyen, en mélangeant avec soin des quantités égales de ces échantillons partiels.

Digitized by Google

Les analyses sont faites sur ces types moyens.

On dose le nitrate pur par le protochlorure de fer, suivant le procédé Schlœsing, au moyen de l'appareil décrit dans la note de M. l'ingénieur Vieille, insérée au *Mémorial des poudres et salpêtres,* t. II, p. 225. On opère sur 10^{cc} d'une dissolution au $\frac{5}{100}$ du nitrate à essayer, et l'on compare le résultat obtenu à celui que donne la même quantité d'un échantillon de nitrate pur pris comme type. Si a et b sont les volumes, à 0° et 760^{mm}, du bioxyde d'azote dégagé respectivement par le nitrate en essai et par le type, la teneur du premier en NaO, AzO^5 est égale à $\frac{100\,a}{b}$.

Le chlorure est dosé au moyen d'une liqueur titrée de nitrate d'argent.

Emmagasinage du nitrate de soude. — Le nitrate de soude est emmagasiné dans des cases dont trois des parois sont formées de murs en maçonnerie recouverts, comme le sol, d'un enduit en ciment. La quatrième est constituée par une cloison mobile formée de madriers glissant dans des rainures verticales. On enlève cette cloison pour remplir la case.

Au-dessus des cases règne un plancher percé d'ouvertures pour l'extraction du nitrate qui, chargé dans des baquets tarés, est pesé, puis transporté par wagonnets dans l'atelier de fabrication de l'acide nitrique, presque contigu au magasin, où il arrive à la hauteur de la face supérieure des massifs contenant les cornues de distillation.

Le magasin comprend 6 cases, capables de contenir chacune environ $100\,000^{kg}$ de nitrate.

Description des appareils de fabrication de l'acide nitrique. — On opère la distillation de l'acide nitrique dans des chaudières en fonte dont l'une A est représentée en coupe par la *fig.* 1. Cet appareil a, très sensiblement, la forme de celui qui a servi aux esssais préliminaires dont nous avons parlé, mais sa capacité est plus grande. Il a $1^m,40$ de diamètre sur autant de hauteur, et peut recevoir 600^{kg} à 700^{kg} de nitrate avec la quantité correspondante d'acide sulfurique ou de vieux acides.

La chaudière présente à la partie supérieure une ouverture cir-

Digitized by Google

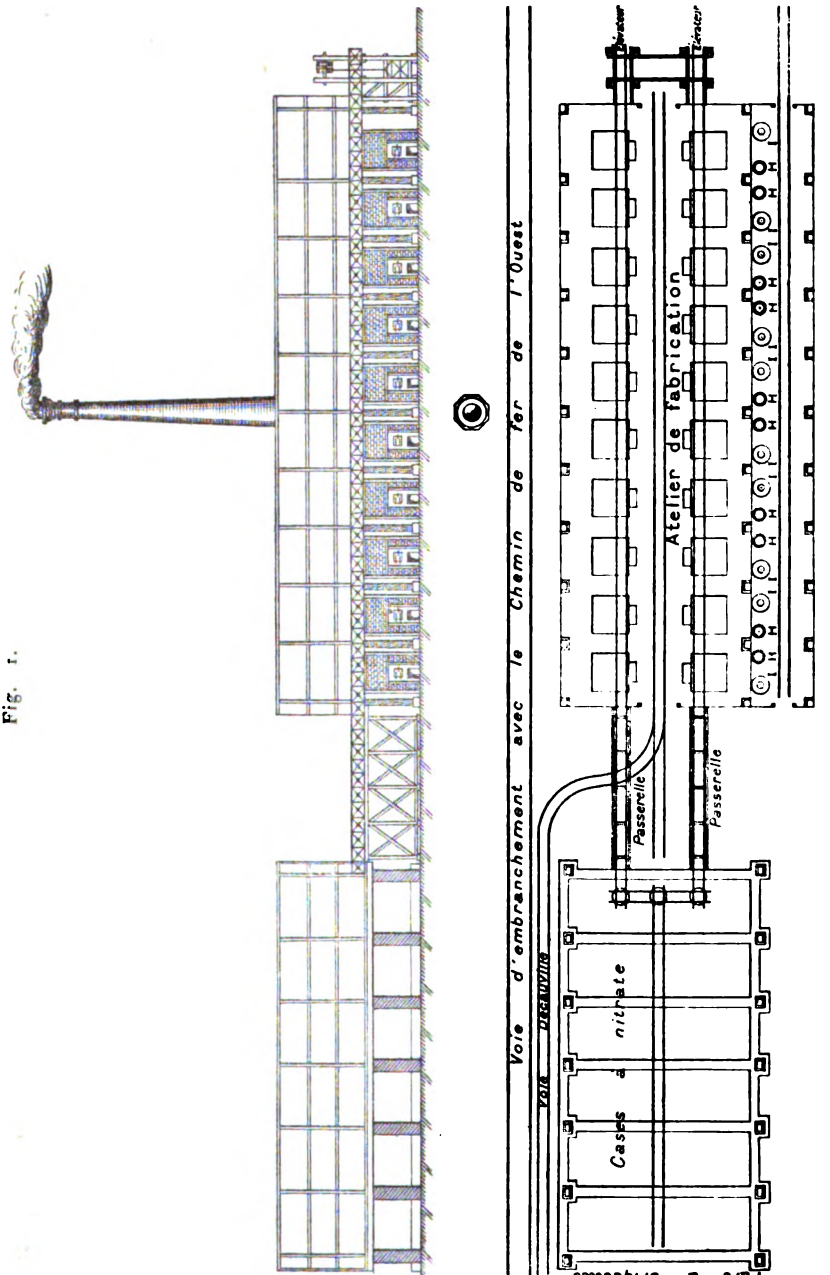


Fig. 1.

Digitized by Google

culaire par laquelle on fait le chargement et qui est fermée pendant le chauffage par un couvercle en fonte luté au ciment de Vassy.

L'acide nitrique distillé s'échappe par la tubulure *a* dont la paroi intérieure est protégée par un tube en verre recuit. Le vide compris entre le tube de verre et la tubulure en fonte de la cornue est luté à chaque extrémité au moyen d'un mastic de silicate de soude et d'amiante en fils. L'extrémité du tube de verre est en saillie de $0^m,05$ à l'intérieur de la cornue (*fig.* 2).

La tubulure *b* sert à l'écoulement du bisulfate de soude à la fin de l'opération, et, pour en assurer l'extraction complète, le fond de la chaudière présente une pente assez forte vers l'origine de la tubulure. Pendant la distillation, cette tubulure est fermée du côté de l'intérieur de la chaudière par un tampon en fonte mastiqué au silicate de soude et à l'amiante; un bouchon conique recouvert du même mastic en obstrue de plus l'ouverture inférieure pour prévoir le cas où le premier joint viendrait à manquer.

La chaudière est fondue d'une seule pièce avec ces deux tubulures. L'épaisseur de la fonte, qui est de $0^m,05$ sur les parois latérale et supérieure, atteint au fond $0^m,06$ à $0^m,07$.

Elle est placée dans un fourneau en maçonnerie de briques et chauffée par le foyer B, alimenté au moyen de briquettes de charbon de terre. Le massif du fourneau est disposé de telle sorte que les gaz de la combustion enveloppent complètement la chaudière avant de se rendre dans le carneau et de là à la cheminée. Cette disposition a pour objet de maintenir à une température aussi uniforme que possible toutes les parties de la chaudière et d'atténuer par suite l'attaque du métal.

Au-dessus du couvercle de la chaudière est ménagée, dans la maçonnerie, pour le chargement, une ouverture carrée qui, pendant la marche, est fermée par un plateau en tôle luté à la terre glaise.

Au massif est accolé un long réservoir D, en fonte d'une seule pièce, qui se retourne sous le foyer pour recevoir le bisulfate de la tubulure *b*. Les dimensions du bâtiment existant dans lequel on a été conduit, pour obtenir une production suffisante, à loger 20 cornues, n'ont pas permis de donner à ce réservoir une largeur

Digitized by Google

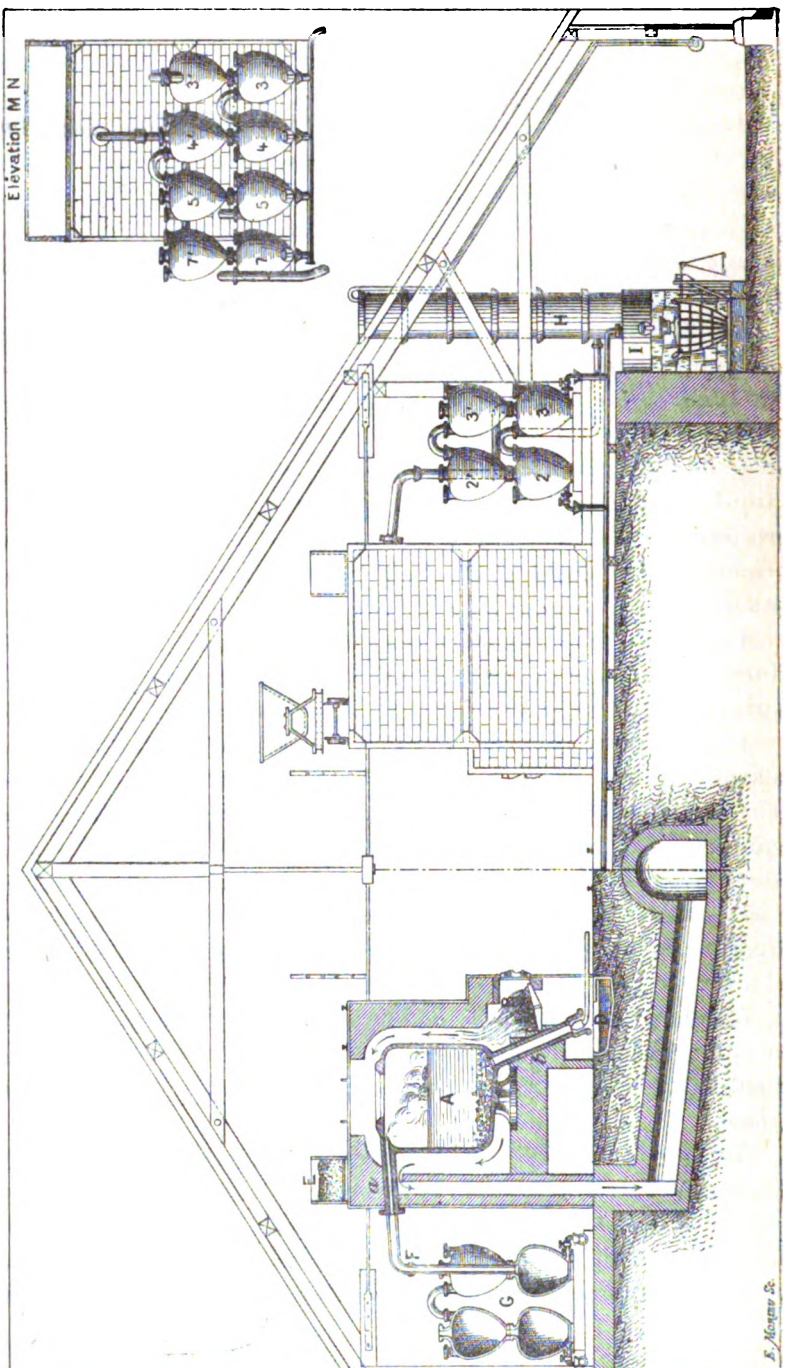


Fig. 2.

Digitized by Google

suffisante et par suite le bisulfate, solide après refroidissement, ne peut être obtenu en plaques assez minces pour se casser facilement.

Sur le massif est placé un réservoir en tôle E dans lequel on fait sécher, pendant chaque opération, la charge de nitrate destiné à l'opération suivante.

L'appareil de condensation des vapeurs d'acide nitrique, qui est rattaché à la tubulure *a* par une allonge en grès F, se compose d'un système de 13 bonbonnes en grès représentées en G.

Les bonbonnes inférieures, au nombre de 7, en comptant celle dans laquelle débouche directement l'allonge, sont munies de robinets pour la vidange des acides condensés; les bonbonnes supérieures, au nombre de 6, présentent une tubulure qui pénètre dans le goulot des premières. — Ces divers vases sont d'ailleurs reliés par des tuyaux cintrés en grès suivant la disposition indiquée par les *fig.* 2, 3 et 4. La contenance de chaque bonbonne est d'environ 100^{lit}.

La dernière bonbonne de chaque appareil de condensation est reliée à une tuyauterie en grès de $0^{m},05$ de diamètre intérieur, qui recueille les vapeurs ayant échappé à la condensation et les conduit dans une tour H formée d'anneaux en grès superposés. Cette tour, qui est remplie de morceaux de pierre ponce placés sur des plateaux perforés, est traversée par un courant d'eau qui provoque la condensation complète des vapeurs.

Les acides condensés dans les bonbonnes peuvent être amenés par une tuyauterie en grès de $0^{m},05$ de diamètre, comme la précédente, dans un vase cylindrique I, d'une contenance de 250^{lit} environ, où s'opère le mélange des acides de divers degrés.

Sous le robinet de ce vase mélangeur peut être disposée une tourie placée sur la plate-forme d'une bascule.

Tous les joints des appareils de condensation et des tuyauteries d'acide ou de vapeurs sont faits au moyen d'un mastic de silicate de soude et d'amiante recouvert de ciment de Vassy.

L'atelier contient 20 fourneaux disposés sur deux lignes de 10, chacun avec une batterie de condensation distincte. Les figures ci-jointes montrent la disposition des conduites d'acide et de vapeurs non condensées qui les relient aux vases mélangeurs et aux tours, placés de façon à desservir deux massifs opposés.

Digitized by Google

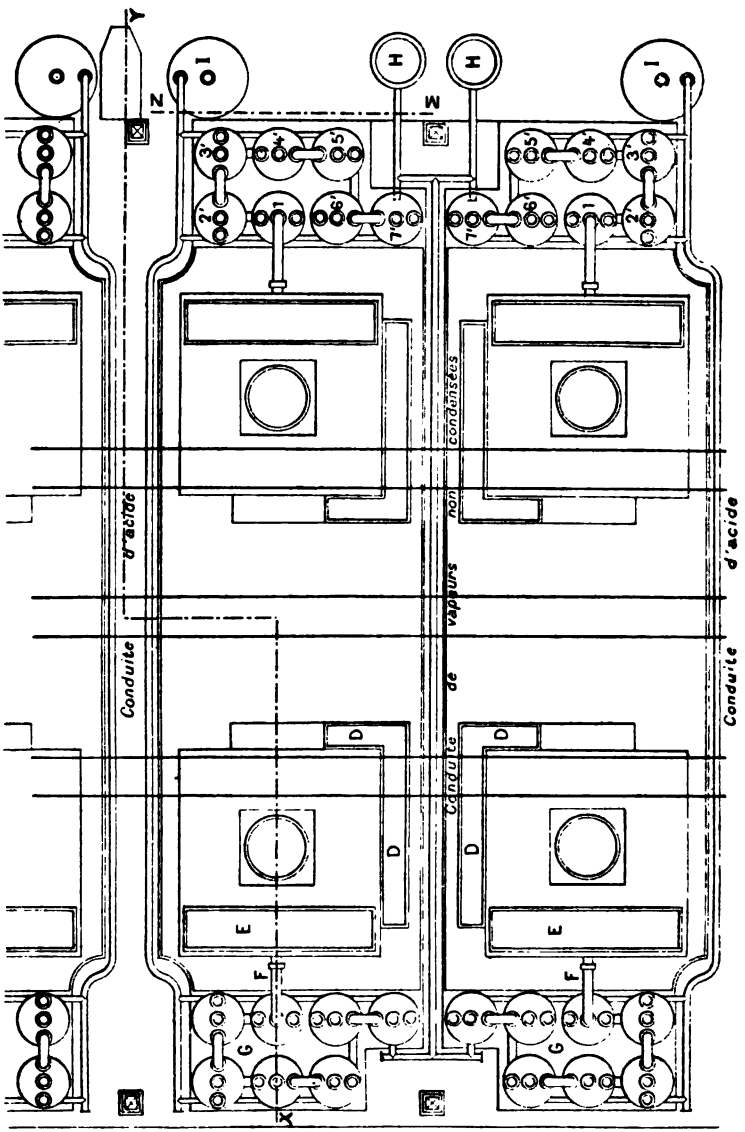


Fig. 3.

Digitized by Google

Une voie ferrée règne sur la face supérieure de chaque rangée de massifs et sert au transport du nitrate de soude et des touries d'acides. Ces touries sont d'abord amenées à la hauteur des voies au moyen d'élévateurs placés à l'entrée de l'atelier.

Marche d'une opération. — Les tampons de la tubulure inférieure étant mis en place, on jette dans la chaudière la charge de 625^{kg} de nitrate desséchée dans le réservoir E (cette charge correspond à 600^{kg} de nitrate pur), et l'on verse par-dessus 960^{kg} (12 touries de 80^{kg}) de vieux acides (*fig.* 3).

Après avoir fermé les ouvertures de la chaudière et du massif, on allume le feu et l'on chauffe, d'abord un peu fort jusqu'à ce que la distillation commence, puis plus lentement, en se réglant sur la température de la première bonbonne de condensation, et en ayant soin d'éviter les coups de feu qui pourraient déterminer des entraînements de matières dans les bonbonnes.

L'acide qui distille d'abord est mélangé d'une certaine proportion de vapeurs hypoazotiques dont une grande partie reste en dissolution dans l'acide condensé, puis sa coloration va en diminuant de plus en plus. En même temps, le degré de l'acide condensé, qui était d'abord très élevé, devient de plus en plus faible.

Pour donner une idée de la marche de la distillation et en même temps du mode de répartition des acides de divers degrés entre les sept bonbonnes de l'appareil de condensation, nous indiquons ci-dessous les chiffres que nous avons trouvés dans une étude faite en 1890, en vue d'améliorer le rendement de l'opération en acide 48° propre à la fabrication du coton-poudre.

Digitized by Google

	BONBONNE.													
	N° 1.		N° 2.		N° 3.		N° 4.		N° 5.		N° 6.		N° 7.	
	Poids	Degrés	Poids	Degrés	Poids	Degrés	Poids	Degrés	Poids	Degrés	Poids	Degrés	Poids	Degrés
ACIDES CONDENSÉS :														
Dans les 4 premières heures de la distillation.	21 kg	47,4 °	24 kg	48,5 °	23 kg	49,5 °	21 kg	50,4 °						
De la 4e à la 8e heure	21	46,9	23	47,6	25	48,6	18	49,5	60 kg	50,7 °	36 kg	52,7 °	17 kg	54,3 °
De la 8e à la 12e	25	45,9	25	46,5	26	47,8	18	49,0						
De la 12e à la 16e	21	45,0	22	45,4	23	46,7	14	48,2						
De la 16e à la 20e	23	43,0	22	43,2	20	45,1	10	47,4						
De la 20e à la 24e	20	38,4	17	38,0	8	41,3	»	»						

Digitized by Google

On voit que le degré de l'acide est d'autant plus élevé que la bonbonne dans laquelle il s'est condensé est plus éloignée. La proportion de vapeurs hypoazotiques dissoutes varie dans le même sens. Dans la bonbonne n° 7, en particulier, la petite quantité qu'on trouve à la fin de l'opération est, comme l'indique le chiffre de 54°, 3 donné par l'aréomètre, très chargée de vapeurs rouges.

On voit aussi que, pour une même bonbonne, les quantités d'acide qui passent successivement à la distillation sont de degré de plus en plus faible.

Si donc on veut obtenir la plus grande quantité possible d'acide nitrique à 48°, il faut recueillir le contenu des bonbonnes au moment précis où le mélange des acides condensés donne de l'acide à ce degré.

A l'issue des expériences précitées de 1890, on a déterminé ce point de la distillation, et l'on a constaté que c'est au bout de dix-huit à vingt heures qu'il est atteint.

On suspend alors le chauffage, car il serait impossible, à cause des dégagements de vapeurs nitreuses par les robinets, de vider les bonbonnes sans interrompre l'opération, et, après quelques heures de refroidissement, on fait, dans le vase I, un premier mélange des acides condensés.

Il est évident qu'en pratique on arrive rarement au point exact qui correspond au maximum de rendement en acide 48°, car les résultats sont variables avec la composition des vieux acides employés, la façon de conduire le feu, la température extérieure, etc.; mais, en suivant les opérations jour par jour et agissant, soit sur la durée de la distillation, soit sur l'intensité du chauffage, on parvient à s'en rapprocher suffisamment.

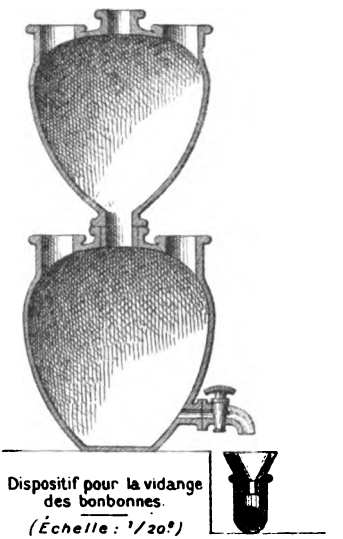
On ne se borne pas, en tous cas, pour le mélange qui suit la première partie de la distillation, à vider dans le vase mélangeur le contenu des 7 bonbonnes, car on risquerait de faire tomber ainsi au-dessous de 48° tout l'acide d'une opération. — On les vide successivement, en observant fréquemment le degré de l'acide arrivé dans le vase I et l'on arrête l'écoulement lorsque, l'acide étant à 48° dans le mélangeur, il ne reste plus dans les bonbonnes que des acides de degré inférieur. Ces acides, dont on cherche à rendre la proportion aussi faible que possible, restent dans les bonbonnes et s'ajoutent à ceux qui proviendront de la deuxième

Digitized by Google

partie de la distillation. — Au contraire, si l'acide est à plus de 48° dans le mélangeur, quand on y a vidé tout le contenu des bonbonnes, on le ramène à ce degré par l'addition d'une partie des acides faibles obtenus à la fin de l'opération.

Le premier mélange terminé, on reprend le chauffage en ayant soin de ne pas forcer le feu au début, afin d'éviter la rupture de la

Fig. 4.



Dispositif pour la vidange des bonbonnes.
(Échelle : 1/20e)

première bonbonne, et l'on termine la distillation, ce qui exige de quatre à cinq heures.

On retire de cette seconde phase de la distillation des acides de degré inférieur à 48° qu'on mélange de façon à obtenir soit de l'acide 42° destiné à la fabrication du coton azotique pour dynamite-gomme, soit de l'acide 39°-40° qu'on expédie aux établissements du Service des poudres fabriquant de la mélinite ou du nitrate d'ammoniaque, soit enfin de l'acide 36° qu'on livre pour la fabrication de l'acide sulfurique, à une usine voisine.

Dès qu'à la deuxième distillation le dégagement de vapeurs acides a pris fin, on met bas les feux, on enlève le tampon inférieur, puis, au moyen d'un long crochet, le tampon supérieur de la tubulure *b*, et le bisulfate de soude qui est alors à l'état liquide s'écoule dans le réservoir D, où il cristallise en se refroidissant.

Digitized by Google

On le débite alors, au moyen de pinces en acier, en blocs qui sont chargés sur des wagonnets et transportés hors de l'atelier.

La durée d'une opération complète, y compris le temps nécessaire au refroidissement de la cornue avant la reprise de l'opération suivante, est de quarante-huit heures ; aussi les vingt cornues de l'atelier sont-elles partagées en deux groupes de dix qu'on charge alternativement. On peut donc recueillir chaque jour le produit de dix opérations.

Mode de payement de la main-d'œuvre. — Les ouvriers de l'atelier de fabrication de l'acide nitrique sont payés à la tâche, à raison de $5^{fr},00$ par 100^{kg} d'acide nitrique 48° et de $2^{fr},00$ par 100^{kg} d'acide faible. Les dépenses de charbon, de poterie et de verrerie, de matières pour joints, amiante, silicate de soude et ciment, sont en outre à leur charge à partir d'une limite fixée, pour chaque matière, par 100^{kg} d'acide 48° produit; mais, si ces dépenses restent au-dessous de cette limite, la moitié de l'économie correspondante est ajoutée à leur gain. La somme totale qui résulte de l'application de ce mode de calcul est, en fin de mois, partagée entre les ouvriers, proportionnellement au nombre d'heures de travail.

Des primes sont en outre accordées chaque mois au chauffeur et au mélangeur qui ont obtenu les meilleurs résultats.

Emmagasinage de l'acide nitrique. — Les acides recueillis dans le mélangeur à la fin de chaque partie de la distillation sont transvasés dans des touries en grès avec paniers en osier qui en reçoivent chacune 80^{kg}.

Les touries contenant l'acide 48° sont emmagasinées, sous un hangar, dans un bassin en maçonnerie de $0^{m},40$ de profondeur constamment rempli d'eau, et disposées par doubles rangées, écartées l'une de l'autre de $0^{m},60$ à $0^{m},70$. Ces précautions sont nécessaires pour éviter les accidents qui pourraient se produire si, par suite de la rupture d'une tourie, l'acide concentré se répandait sur les paniers et en déterminait l'inflammation.

Les touries d'acide nitrique faible qui ne présente pas le même danger sont laissées sur le sol et à l'air libre.

Le bassin peut contenir environ 600 touries, soit $48\,000^{kg}$ d'acide à 48°.

Digitized by Google

Production et rendement pratique. — Une opération complète donne environ 540^{kg} d'acide nitrique 48° et 50^{kg} à 60^{kg} d'acides de 36° à 42°. La production journalière de l'atelier peut donc s'élever à 5000^{kg} environ d'acide 48°. (Ce chiffre est relatif à l'emploi des vieux acides dont nous avons donné plus haut la composition moyenne; avec ceux qui proviennent de la fabrication du coton azotique pour dynamite et qui sont moins concentrés, la production journalière ne dépasse pas 4000^{kg}).

Le rendement moyen pour 100^{kg} de nitrate de soude a été, dans l'année 1892 :

	RENDEMENT en acide brut.	TAUX POUR 100 d'AzO^5.HO contenu dans chaque acide.	RENDEMENT en AzO^5.HO.
Acide nitrique 48°.....	90,97	88,0	80,1
» 42°.....	4,50	67,5	3,4
» 39°.....	1,08	59,5	0,6
» 36°.....	3,30	53,0	1,7
		Total.....	85,8

Le rendement en acide monohydraté, AzO^5,HO, est donc de 85,8 pour 100 de nitrate de soude, c'est-à-dire 92,3 pour 100 du rendement théorique rapporté au poids total d'acide monohydraté contenu dans le nitrate de soude et dans les vieux acides.

Qualités des acides obtenus. Procédés de dosage. — L'acide 48° contient, en moyenne, 88 pour 100 de monohydrate, 3 pour 100 de vapeurs nitreuses, et 0,04 pour 100 de fer évalué en peroxyde. Il ne renferme pas d'acide sulfurique.

Les acides faibles contiennent moins de 0,2 pour 100 de vapeurs nitreuses et, ce qui est important, surtout pour l'acide destiné à la fabrication du nitrate d'ammoniaque, on n'y trouve généralement que des traces d'acide sulfurique.

Le dosage du monohydrate dans l'acide nitrique est fait, soit par le procédé Schlœsing rappelé à propos de l'épreuve du nitrate de soude, soit au moyen d'une liqueur titrée de potasse.

Digitized by Google

Pour doser les vapeurs nitreuses, on se sert d'une dissolution titrée de permanganate de potasse.

Enfin on détermine le fer par précipitation à l'état de peroxyde, au moyen d'un excès d'ammoniaque.

Pour faire l'analyse d'un échantillon de vieux acides, on dose d'abord, par la méthode volumétrique, l'acidité totale, puis on détermine l'azote total par le procédé Schlœsing, et enfin on dose les vapeurs nitreuses au moyen du permanganate de potasse.

Purification de l'acide nitrique 42°. — L'acide nitrique 42°, pour être employé à la fabrication du coton azotique pour dynamite-gomme, doit être complètement dépouillé de vapeurs nitreuses. Pour arriver à ce résultat, on le fait passer dans un serpentin en grès plongé dans de l'eau qu'on maintient à la température de 90°, au moyen d'un courant de vapeur. Ce serpentin est parcouru, en même temps, en sens inverse de l'écoulement de l'acide, par un courant d'air continu, fourni par un petit soufflet mû mécaniquement.

L'acide blanchi tombe dans une tourie reliée au serpentin, pendant que les vapeurs nitreuses qui se dégagent à l'extrémité supérieure sont envoyées dans une tour de condensation.

Le débit d'un appareil est de 100^{kg} d'acide à l'heure.

Utilisation du bisulfate de soude. — Jusqu'en 1891, le bisulfate acide de soude, dont la production atteint environ 800^{kg} par opération et par cornue, n'avait aucun emploi et était jeté à la mer. Mais, depuis cette époque, ce résidu est vendu à une société qui en a trouvé l'utilisation industrielle et exploite une usine dans le voisinage de la poudrerie.

Prix de revient. — Les dépenses correspondant à la production de 100^{kg} d'acide nitrique 48° peuvent être évaluées de la façon suivante :

Digitized by Google

NATURE DES DÉPENSES.	QUANTITÉS.	PRIX par 100kg.	DÉPENSES.
	kg	fr	fr
Nitrate de soude.....	110	25,00	27,50
Vieux acides.....	175	3,00 (1)	5,25
Charbon.....	50	2,50	1,25
Poterie et verrerie.....	»	»	0,80
Matières pour joints :			
Amiante, silicate de soude, ciment...	»	»	0,90
Appareils en fonte.....	»	»	0,50
Divers.....	»	»	0,55
Main-d'œuvre.....	»	»	5,50
Frais généraux.....			4,95
		Total.....	47,20
A déduire ;			
Bisulfate de soude.....	150	0,40 (2)	0,60
		Reste.....	46,60

(1) Valeur commerciale maxima.
(2) Prix de vente pour 1894. Ce prix atteignait 1fr, 10 les deux années précédentes.

Mais en même temps que 100kg d'acide 48°, on obtient environ 10kg d'acides faibles, dont la valeur moyenne peut être représentée par les 0,4 de celle de l'acide 48°. Les prix de revient, par 100kg, sont donc :

Acide 48°..... 45fr,00
Acides faibles..... 18fr,00

Si l'on rapproche le chiffre qu'on vient de trouver pour l'acide 48° du prix de 95fr auquel a été fait en 1887 le dernier achat de cet acide dans le commerce, on voit que l'installation de la fabrique d'acide, qui a coûté 132 000fr,00, a, tout en assurant la régularité de l'approvisionnement, procuré à l'État une économie considérable, puisqu'elle a permis, si l'on considère la production moyenne depuis le 1er janvier 1888, de réaliser un bénéfice annuel moyen de 450 000fr.

Moulin-Blanc, le 14 février 1894.

Digitized by Google

II.

NOTE SUR LA FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE

A LA POUDRERIE D'ANGOULÊME;

PAR

M. BRULEY,

Ingénieur des poudres et salpêtres.

La fabrication industrielle de l'acide nitrique a commencé, à la poudrerie d'Angoulême, dès la mise en marche des nouvelles installations relatives au coton-poudre, c'est-à-dire dans les premiers mois de 1888.

Il y a un double intérêt économique à produire, dans l'établissement même, l'acide à 48° B. qui entre pour une assez forte proportion dans la préparation des différentes espèces de cellulose nitrée. D'abord, cet acide est classé, par les compagnies de chemins de fer, dans la première catégorie des matières dangereuses et voyage, par suite, à des tarifs très élevés. Il se trouve donc grevé, en arrivant à la poudrerie, éloignée de tout centre de production, de frais de transport importants. D'un autre côté, la fabrication directe permet d'utiliser un sous-produit de la nitrification du coton qui, sans cela, n'aurait pas grande valeur.

Le coton-poudre s'obtient, en effet, en trempant des déchets de coton blanchis et dégraissés dans un mélange d'acide nitrique et d'acide sulfurique. L'excès de ce mélange, emporté par le coton après trempage, est recueilli en grande partie au moyen d'essoreuses à force centrifuge. La partie recueillie, ou *vieux acides,* se compose à peu près pour les trois quarts d'acide sulfurique; un dixième environ est de l'acide nitrique non utilisé; le reste est de l'eau avec une faible proportion de vapeurs nitreuses et des traces de matières diverses.

Digitized by Google

La valeur réelle de ce sous-produit varie avec le prix courant de l'acide sulfurique. Elle résulte, pour la poudrerie d'Angoulême, d'un traité passé avec un industriel pour la séparation et la concentration de l'acide sulfurique qu'il renferme. Actuellement, cette valeur ressort à 2^{fr}, 15 environ les 100^{kg}.

Ce sont ces vieux acides qui trouvent leur emploi dans la production de l'acide nitrique.

I. — Principe de la fabrication.

Toute fabrication industrielle d'acide nitrique repose sur la substitution de l'acide sulfurique à l'acide nitrique dans un nitrate, de préférence dans le nitrate de soude dont l'équivalent chimique est relativement faible et le prix de revient peu élevé.

En général, l'industrie recherche des acides marquant 36° à 40° Baumé. On les obtient, soit en employant de l'acide sulfurique faible, soit, si l'on trouve plus avantageux de se servir d'acide à 66° Baumé, en ajoutant de l'eau dans les bonbonnes de condensation.

Dans tous les cas, abstraction faite des quantités d'eau plus ou moins grandes existant, soit dans les matières premières, soit dans les produits obtenus, la formule théorique de la réaction est la suivante :

$$NaO, AzO^5 + 2(SO^3, HO) = NaO, HO, 2SO^3 + AzO^5, HO.$$

Il faut donc 2 équivalents d'acide sulfurique pour 1 de nitrate de soude, et il se forme du bisulfate de soude. En n'employant qu'un seul équivalent, la réaction ne pourrait se faire qu'à une température beaucoup plus élevée, à laquelle une partie de l'acide nitrique produit serait décomposée. On perdrait ainsi, et au delà, toute l'économie qu'on aurait pu espérer. D'après la formule ci-dessus, 100 parties en poids de nitrate de soude pur et sec exigent 115,29 parties d'acide sulfurique monohydraté et produisent 74,10 parties d'acide nitrique (AzO^5, HO).

La substitution des vieux acides à l'acide sulfurique a pour résultat, d'une part d'augmenter le rendement en acide nitrique et, d'autre part, d'introduire de l'eau dans les produits de la distillation. L'acide nitrique des vieux acides, en effet, distille et

Digitized by Google

vient s'ajouter à celui qui provient de la décomposition du nitrate. Quant à leur eau, elle donne naissance à des hydrates qui abaissent le degré moyen de l'acide obtenu.

A l'inverse de ce qui se passe ordinairement dans l'industrie où l'on obtient des acides faibles avec des matières premières ne contenant que fort peu d'eau, à la poudrerie d'Angoulême, on s'efforce de recueillir le plus possible d'acide à 48° malgré l'introduction avec les vieux acides de notables quantités d'eau.

On ne cherche guère à produire, avec l'acide à 48°, que des acides marquant 39° à 40° à l'aréomètre Baumé, qui trouvent, en général, leur emploi dans d'autres établissements du service.

II. — Description générale de l'installation.

Au moment de l'installation de la fabrique de coton-poudre, on a cherché à utiliser autant que possible les bâtiments existants. C'est ainsi qu'on a choisi, pour l'atelier de préparation de l'acide nitrique, un grand hangar de 10^m de largeur intérieure et formé de 18 travées de 4^m chacune, soit 72^m en longueur totale, ayant servi jusque-là à l'emmagasinage des bois à charbon.

Les délais imposés pour la construction et la mise en service des nouveaux ateliers ont été beaucoup trop courts pour qu'on ait pu étudier en détail tous les appareils de fabrication. On s'est donc borné, en général, à prendre les types déjà en service à la poudrerie du Moulin-Blanc et à les adapter le mieux possible à la disposition générale des lieux.

L'atelier de préparation de l'acide nitrique reçut ainsi 30 fours, chiffre considéré comme nécessaire pour alimenter la fabrique de coton-poudre (*fig.* 1).

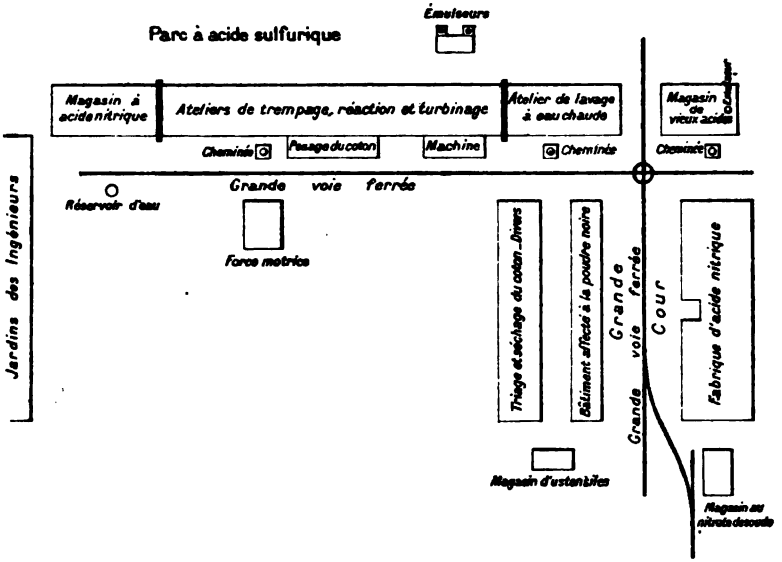
Ces 30 fours sont placés dans l'intérieur du bâtiment sur deux lignes symétriques par rapport à son grand axe. L'une des lignes en comprend 18, c'est-à-dire un par travée; l'autre n'en contient que 12, en deux groupes de 6, laissant entre eux et entre les pignons du bâtiment des espaces libres pour la facilité du service.

Les fermes primitives ont été modifiées pour ménager un passage à la partie supérieure des fours; on en a profité pour établir un lanterneau d'aération et d'éclairage.

Digitized by Google

Les appareils de condensation ont dû être reportés dans deux appentis accolés aux deux grands côtés du bâtiment.

Fig. 1.



Un carneau central, sous le sol, règne tout le long de l'atelier et correspond à une cheminée en briques de 25^{m} de hauteur et 0^{m},75 de diamètre à sa partie supérieure. Les carneaux de tous les fours aboutissent à ce carneau central (*fig.* 2).

Le magasin au nitrate de soude est très voisin; il a été établi sur le type des magasins à salpêtre des raffineries, c'est-à-dire avec des cases en bois d'une contenance de 80000^{kg} à 90000^{kg} assurant la division des approvisionnements. Une petite voie ferrée venant de ce magasin aboutit à un monte-charge hydraulique qui donne accès aux voies établies sur passerelles, régnant le long de chaque rangée de fours, à la hauteur de leur sommet. Le nitrate et les vieux acides, quand ceux-ci proviennent du parc, arrivent par ces voies. Le plus souvent, les vieux acides, venant directement des turbines essoreuses, sont remontés, au moyen d'émulseurs à air comprimé dans un réservoir supérieur, d'où ils sont envoyés, par une simple conduite, jusqu'au lieu d'emploi (*fig.* 3).

Digitized by Google

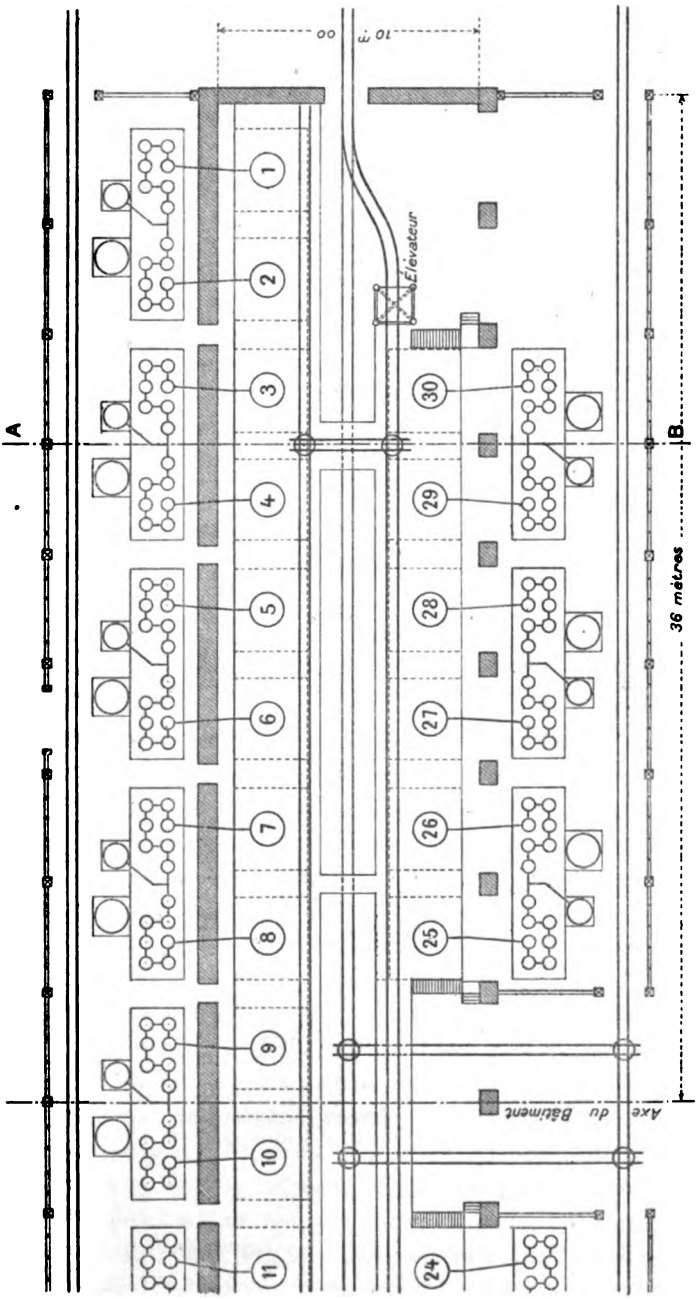

A
B
Elévateur
Axe du Bâtiment
36 mètres
1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
24
25
26
27
28
29
30

Fig. 2.

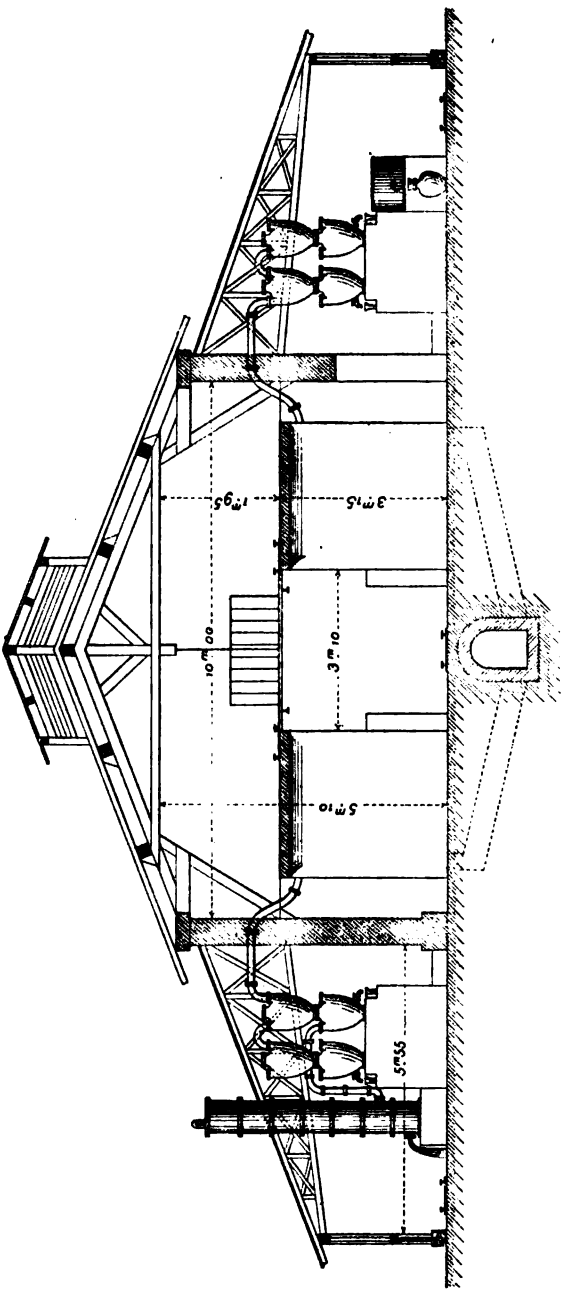


Fig. 3.

Digitized by Google

Sur le sol même de l'atelier sont établies d'autres petites voies servant, soit à amener le combustible, soit à emporter les acides fabriqués.

Enfin des lampes à incandescence permettent d'éclairer l'atelier pendant la nuit.

Tel est l'ensemble des installations de la fabrique d'acide nitrique à la poudrerie d'Angoulême.

III. — Détail des appareils.

La chaudière ou cornue en fonte dans laquelle se fait l'attaque du nitrate de soude par les vieux acides est semblable à celle de la poudrerie du Moulin-Blanc. Elle a $1^m,50$ de diamètre extérieur et $1^m,60$ de hauteur; l'épaisseur de la fonte est de $0^m,05$. Deux tubulures de $0^m,10$ de diamètre intérieur servent, l'une au dégagement des vapeurs d'acide nitrique, l'autre à l'évacuation du bisulfate liquide. La première, contrairement à ce qui existe au Moulin-Blanc, va en s'élevant; cette disposition était commandée par celle des appareils de condensation. Elle est protégée intérieurement contre l'attaque des vapeurs acides par un tube en grès luté, à ses deux extrémités, au moyen d'un mastic d'amiante en floches et de silicate de soude liquide (*fig.* 4).

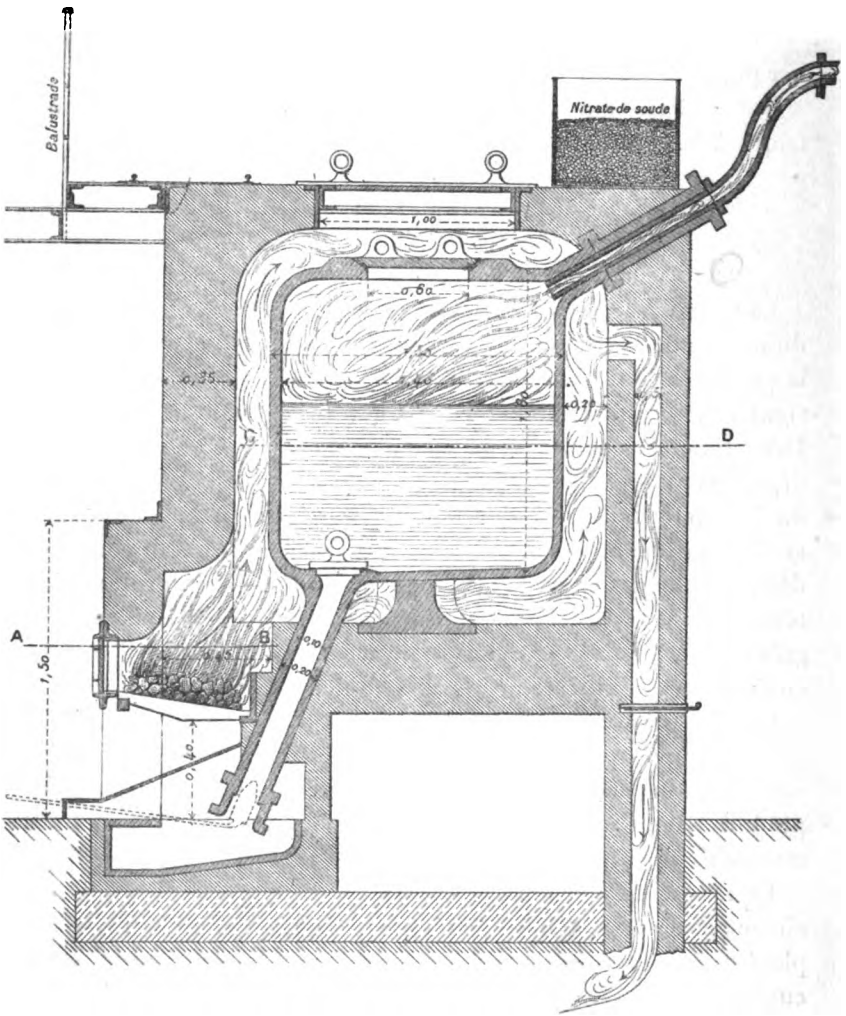
L'autre tubulure est obturée, à l'intérieur de la chaudière, par un tampon en fonte luté de même façon. A son extrémité inférieure, on peut également, dans le cas où une fuite vient à se produire, faire obturation au moyen d'un tampon tronconique muni d'un long manche (*fig.* 5).

Le massif en maçonnerie de briques supportant et entourant chaque cornue est disposé comme au Moulin-Blanc; le foyer est placé dans un avant-corps. Les gaz de la combustion, après avoir entièrement enveloppé la cornue, redescendent par un carneau vertical muni d'un registre et vont rejoindre le carneau collecteur. Des voûtelettes en briques réunissent par groupes un certain nombre de massifs entre eux, de manière à permettre une circulation continue au sommet des fours. A chaque massif, une ouverture circulaire, munie, pendant la marche, d'un couvercle en tôle à double paroi qui peut être remplacé, pendant le refroi-

Digitized by Google

dissement de la cornue, par une grille à barreaux très écartés

Fig. 4.



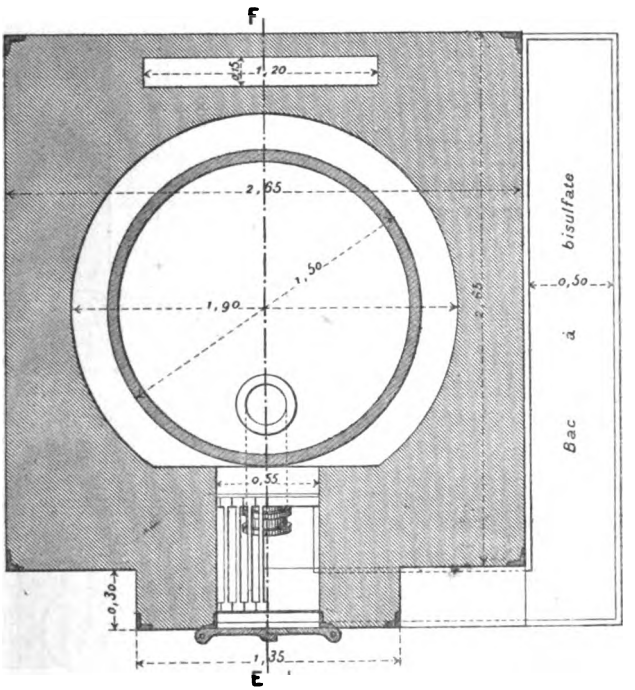
pour empêcher tout accident, correspond à l'orifice de chargement de cette cornue.

Un réservoir en fonte, placé sous le sol, longeant deux des côtés du massif et venant se retourner pour correspondre à l'orifice de la tubulure qui traverse le foyer, reçoit le bisulfate à la fin de

Digitized by Google

chaque opération. Pendant l'opération elle-même, le fond du cendrier est formé par une tôle mobile qui recouvre ce réservoir. C'est exactement la disposition du Moulin-Blanc. Un bac en tôle,

Fig. 5.



placé à la partie supérieure du massif, reçoit le nitrate de soude qui y séjourne quelque temps avant son emploi et y perd une partie de son humidité (*fig.* 6).

L'appareil de condensation des vapeurs d'acide nitrique se compose, pour chaque four, d'une série de 14 bonbonnes ou touries en grès de $0^m,60$ de diamètre et de $0^m,70$ de hauteur. Ces touries sont réunies par groupes de deux superposées. La tourie inférieure, qui repose par un fond plat sur un massif en briques, est munie d'un orifice avec bride sur lequel on place un robinet en grès pour la vidange de l'acide ; la tourie supérieure s'engage par une tubulure de fond dans une ouverture spécialement ménagée à cet effet dans la tourie inférieure. Toutes les touries sont,

Digitized by Google

en outre, pourvues de deux orifices servant à les réunir entre elles par une tuyauterie en grès. Cette tuyauterie est disposée de façon à obliger les vapeurs acides à suivre le plus long parcours pos-

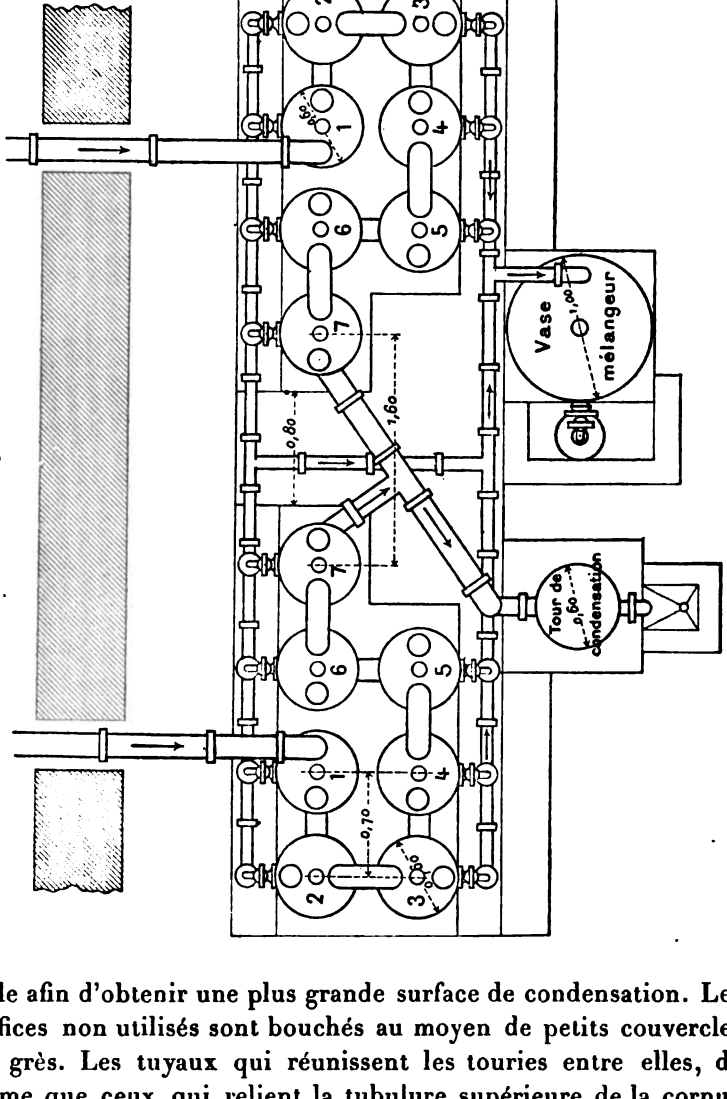


Fig. 6.

sible afin d'obtenir une plus grande surface de condensation. Les orifices non utilisés sont bouchés au moyen de petits couvercles en grès. Les tuyaux qui réunissent les touries entre elles, de même que ceux qui relient la tubulure supérieure de la cornue

Digitized by Google

au premier groupe de touries, ont $0^m,10$ de diamètre intérieur (*fig.* 7).

A chaque groupe de deux fours correspondent une tour et un

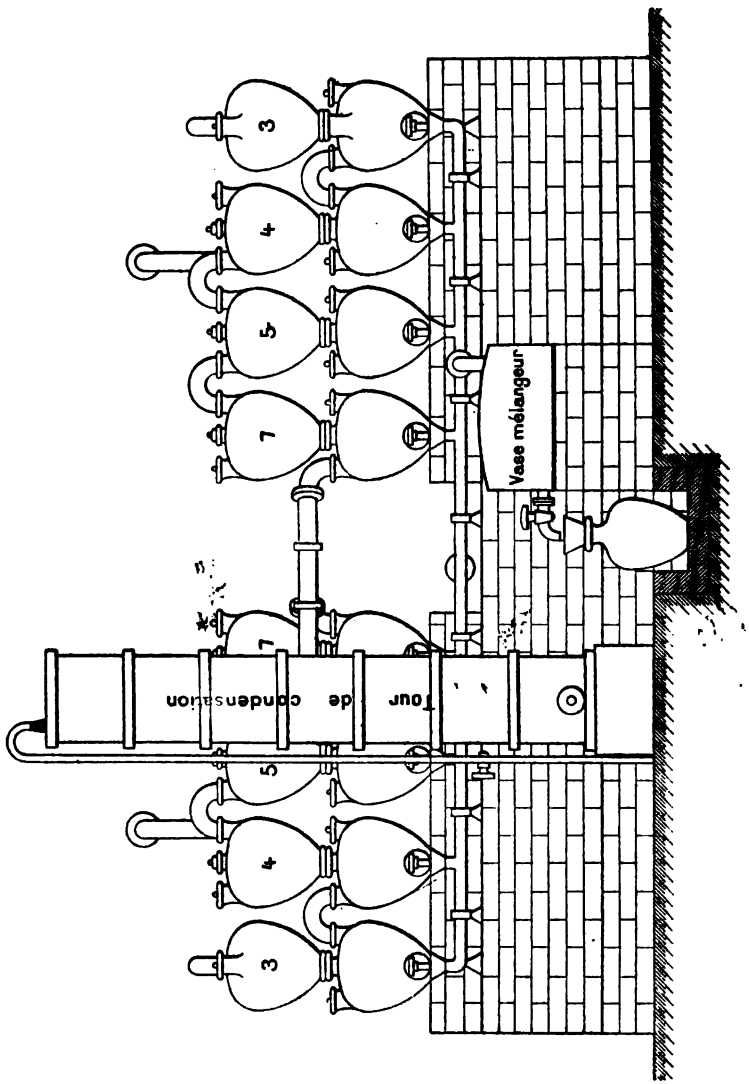


Fig. 7.

vase mélangeur, tous deux placés à côté du massif, supportant les touries de condensation. La tour est formée d'anneaux en grès

Digitized by Google

superposés, à rebords intérieurs sur lesquels sont disposés des plateaux perforés; elle est reliée par une tuyauterie en grès au dernier groupe de touries de chaque four. Les acides non con-

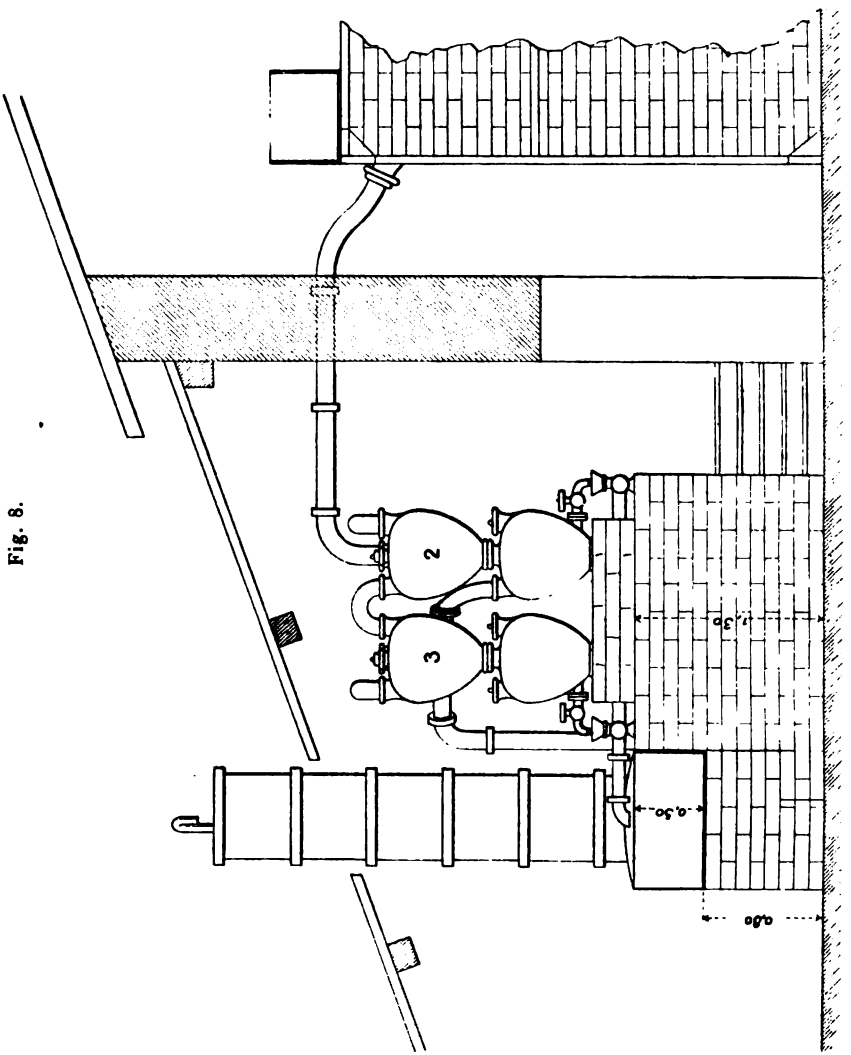


Fig. 8.

densés viennent se dissoudre dans l'eau qui coule constamment au sommet de cette tour et sont entraînés avec elle à la partie inférieure. Le vase mélangeur est un vase en grès pouvant contenir de 360^{kg} à 380^{kg} d'acides (*fig.* 8).

Digitized by Google

Une tuyauterie de 45^{mm} de diamètre intérieur, avec orifices munis d'entonnoirs correspondant aux robinets de vidange des touries inférieures, permet d'amener dans le vase mélangeur les acides refroidis à la fin de chaque opération. Tous les joints des appareils et tuyauteries en grès se font au mastic de silicate de soude et d'amiante, recouvert d'un bourrelet de ciment.

IV. — Théorie de la distillation.

Il existe plusieurs hydrates d'acide azotique. L'acide monohydraté AzO^5, HO marque 49°, 3 à l'aréomètre Baumé; il bout à 86°. L'acide quadrihydraté $AzO^5, 4HO$ ne marque que 42°, 6 et bout à 123°. Ce sont les deux combinaisons les plus stables de l'acide azotique avec l'eau; ce sont celles qui ont tendance à se former quand on distille un mélange d'acide et d'eau.

D'après Wurtz (*Dictionnaire de Chimie,* t. I, p. 492), si l'on soumet à la distillation un acide nitrique de densité supérieure à 1,42 (42°, 6 B.), il passe d'abord de l'acide monohydraté, puis de l'acide quadrihydraté. Si l'on fait la même opération sur un acide de densité inférieure, on recueille d'abord de l'eau plus ou moins acidulée jusqu'au moment où l'acide à 42°, 6 passe.

On devrait donc, dans la fabrication de l'acide nitrique au moyen des vieux acides, obtenir d'abord de l'acide monohydraté, puis, finalement, de l'acide quadrihydraté.

En pratique, il n'en est pas tout à fait ainsi; il résulte d'expériences faites au laboratoire de la poudrerie que, à la fin de l'opération, le degré des acides obtenus diminue de plus en plus et que le dernier produit recueilli n'est guère que de l'eau acidulée.

Il y a donc lieu de penser que, dans la fabrication de l'acide nitrique telle qu'elle se pratique à la poudrerie d'Angoulême, la marche de la distillation s'établit ainsi qu'il suit : au début, l'acide monohydraté distille seul; ensuite la température s'élève, l'acide quadrihydraté passe à son tour, l'eau en excès étant retenue par le bisulfate déjà formé. Enfin, pour terminer l'opération, en chauffant plus fortement, le bisulfate cède une partie de cette eau, qui distille à son tour.

On peut concevoir le moment où, tout l'acide monohydraté étant passé, l'acide quadrihydraté commence à distiller à son tour.

Digitized by Google

En réalité, les choses ne se passent pas aussi simplement, et il existe des périodes où se produisent simultanément soit l'acide monohydraté et l'acide à 42°, 6, soit celui-ci et la vapeur d'eau.

De plus, pour les différentes espèces de vapeurs, la condensation ne se produit ni dans les mêmes groupes de touries, ni avec la même intensité dans chaque groupe. Il en résulte que, à la fin d'une opération complète, les acides recueillis dans chacun de ces groupes sont loin de présenter le même degré de concentration.

La séparation qui s'opère ainsi naturellement permet, au moyen de mélanges méthodiques, d'obtenir pratiquement plusieurs espèces d'acide nitrique à des degrés déterminés.

Si, comme pour la fabrication du coton-poudre, il est nécessaire d'avoir le plus possible d'acide très concentré, on comprend facilement qu'on obtiendra le rendement maximum en arrêtant la distillation au moment où l'acide quadrihydraté commence à passer en quantités notables.

De là deux méthodes de fabrication : celle que l'on employait au début, et qui consiste à tout faire en une seule opération, et celle qui, mise en essai tout d'abord à la poudrerie du Moulin-Blanc, a pour caractéristique la distillation fractionnée en deux opérations distinctes, et qu'on emploie maintenant en marche normale.

Dans ce cas, pendant la première distillation, le peu d'acide faible qui se forme se condense dans les groupes de touries 1 et 2 et vient diminuer le degré des acides qu'ils renferment. Pendant la seconde c'est, au contraire, dans ces groupes que se trouvent les acides les plus concentrés.

Avec l'une aussi bien qu'avec l'autre méthode, il y a formation de petites quantités d'acide hypoazotique qui vient, surtout dans les touries les plus éloignées, se dissoudre dans les acides déjà condensés et en augmenter le degré aréométrique et, par suite, la richesse apparente en acide monohydraté. Ces vapeurs nitreuses sont dues à la décomposition partielle de l'acide nitrique produit, soit par la chaleur, soit, au début de l'opération, par l'acide sulfurique non encore combiné à l'état de bisulfate. Dans la nouvelle méthode, c'est surtout pendant la première distillation que se produisent les vapeurs nitreuses.

Digitized by Google

Le tableau ci-dessous donne, à titre d'indication sur la marche des distillations, les quantités d'acides, avec leur degré apparent et leur degré réel (après avoir chassé les vapeurs nitreuses), obtenues pour une opération complète sur un groupe de 2 fours.

DÉSIGNATION des groupes de fours.	1re DISTILLATION.				2e DISTILLATION.			
	Quantités recueillies.	Degré apparent.	Degré réel.	Taux pour 100 de vapeurs nitreuses.	Quantités recueillies.	Degré apparent.	Degré réel.	Taux pour 100 de vapeurs nitreuses.
	kg	o	o		kg	o	o	
1.....	413	46,1	45,6	1,0	125	40,3	40,0	0,8
2.....	239	47,8	46,8	2,5	67	39,7	39,6	0.3
3.....	169	50,9	48,1	8.5	46	38,5	38,1	1,0
4.....	97	53,2	48,4	16,4	29	38,1	37,5	1,5
5.....	31	55,5	48,4	31,4	11	38,6	38,6	0.1
6.....	10	53,1	46,5	27,9	5	39,3	39,3	0,0
7.....	5	51,0	44.6	26,0	0	»	»	»
TOTAUX..	964				283			

V. — Marche des opérations.

1° *Méthode actuelle.* — La charge d'une cornue est de 600kg de nitrate de soude sec. Ce nitrate, d'après les conditions imposées aux fournisseurs, ne doit pas contenir plus de 1 pour 100 de chlorures, ni plus de 2 pour 100 de matières insolubles; il est au moins au taux de 60 pour 100 d'acide nitrique anhydre. Son humidité qui, à la livraison, ne doit pas dépasser 4 pour 100, est ramenée, au moment de l'emploi, à 1 ou 1,50 pour 100. La charge de vieux acides varie de 920kg à 1000kg suivant leur composition. Elle doit contenir assez d'acide sulfurique pour assurer l'attaque complète des 600kg de nitrate.

Pour une production journalière de 2500kg à 3000kg d'acide à 48°, correspondant à la mise en marche de 6 fours, il faut une brigade de 26 hommes, sous la direction d'un chef d'atelier et d'un surveillant spécialement chargé des mélanges.

Dès le matin, à leur arrivée au travail, les chauffeurs font le

Digitized by Google

chargement des cornues, après avoir, au préalable, nettoyé les orifices des tubulures d'extraction du bisulfate et mis leurs tampons en place. Cette opération s'effectue en descendant au fond de la cornue, suffisamment refroidie au préalable. Le chargement se fait en versant d'abord le nitrate, puis, par-dessus, les vieux acides. On place ensuite le tampon supérieur, on en garnit le pourtour de ciment, on ferme l'ouverture de chaque massif au moyen de son couvercle en tôle et on allume les feux. Ceux-ci doivent être surveillés très attentivement; on doit d'abord les pousser activement jusqu'au moment où les premières touries s'échauffent, c'est-à-dire où la distillation commence; on les ralentit ensuite et on les conduit aussi régulièrement que possible, toute surchauffe accidentelle étant la cause d'une diminution de rendement et pouvant amener l'obstruction de la tubulure de dégagement et, par suite, la perte d'une partie de la charge.

La distillation continue pendant toute la nuit; sa durée totale est de 16 à 20 heures suivant la saison et suivant le degré des vieux acides employés.

Vers le milieu de l'opération, on est obligé de faire écouler une partie de l'acide condensé dans le groupe de touries n° 1 qui, sans cette précaution, serait entièrement rempli avant la fin.

Après l'extinction des feux, on laisse les acides se refroidir dans les touries d'où on ne les fait écouler dans le vase mélangeur que l'après-midi.

Pour la seconde distillation, on rallume les feux vers le soir : on doit chauffer doucement au début pour éviter la rupture des touries; vers la fin, au contraire, on chauffe assez fortement afin d'avoir un bisulfate cristallisant plus facilement. La durée de cette seconde opération est de 6 à 8 heures.

Dès qu'elle est terminée, on enlève le tampon supérieur de la cornue, puis, au moyen d'un crochet à long manche, on dégage l'orifice de la tubulure inférieure et le bisulfate liquide s'écoule dans le réservoir établi pour le recevoir. Au bout de 24 heures, son refroidissement est suffisant pour qu'on puisse le retirer. L'extraction en est assez difficile et ne peut se faire qu'au moyen de pinces, de burins et de leviers.

Une brigade spéciale est chargée des mélanges. Le matin, elle

Digitized by Google

fait le mélange général des acides faibles provenant des fours dont la seconde distillation vient de se terminer. Le mélange des acides forts de la série suivante commence ensuite. Il se fait en trois fois. Aux acides des touries n° 1 déjà tirés pendant la nuit et marquant 46° à 47°B., on ajoute une partie du contenu des touries n° 5, de manière à arriver à 48° en moyenne, toutes les indications de l'aréomètre étant ramenées à la température de 15°. Pour la correction, on admet en pratique un dixième de degré aréométrique par degré centigrade.

Le second mélange comprend le contenu des groupes de touries 2, 3 et 4, corrigé s'il y a lieu au moyen, soit de l'acide des touries n° 1, soit de celui des touries n° 5. Enfin, on fait un troisième mélange avec le reste de ces touries, le peu qu'il y a dans les groupes 6 et 7, et l'on ramène le degré moyen à 48°, en y ajoutant tout ou partie de ce qui reste dans le groupe n° 1.

Une autre brigade s'occupe d'amener les matières premières : nitrate de soude et vieux acides, à pied-d'œuvre, de transporter les acides à 48° et à 40°, ceux-ci au parc, les autres dans la fosse remplie d'eau où on les conserve en touries et, en général, de tous les mouvements intérieurs de l'atelier. Enfin, quelques ouvriers spéciaux sont occupés aux réparations diverses : changements d'objets en grès, réfection de joints, préparation du mastic, etc.

2° *Ancienne méthode.* — L'ancienne méthode, qui ne comportait qu'une seule opération, ne différait pas sensiblement de la méthode actuelle. La durée de cette opération était de 20 à 24 heures. On faisait le même nombre de mélanges, mais le surveillant devait y apporter plus de soin et d'attention, par suite de la présence, dans chaque groupe de touries, de couches superposées d'acides de concentration différente.

3° *Emploi d'acide sulfurique neuf.* — Le manque de vieux acides disponibles a quelquefois obligé de recourir à l'acide sulfurique à 66° pour la fabrication de l'acide nitrique. Dans ce cas, pour 600^{kg} de nitrate sec, on emploie 700^{kg} d'acide sulfurique. On ne fait, bien entendu, qu'une seule distillation dont la durée est d'environ 24 heures, et les mélanges ne comportent que des acides forts, les composants ne contenant qu'une quantité d'eau très faible.

Digitized by Google

VI. — Rendements.

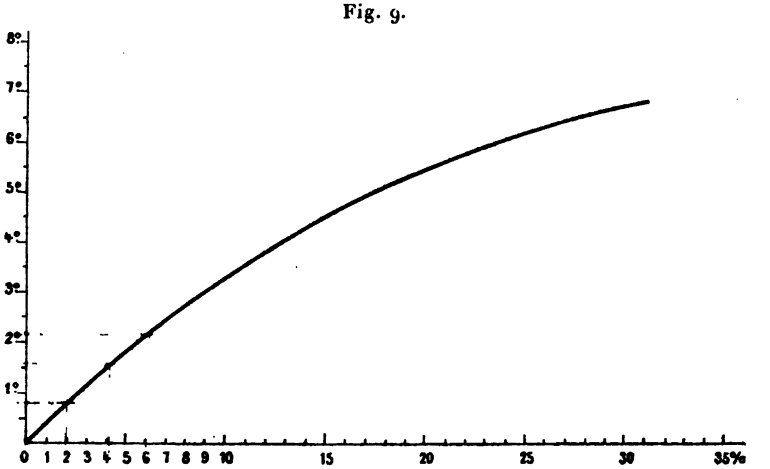
Le rendement théorique d'une opération est variable suivant la composition des vieux acides employés.

Les produits obtenus : acides à 48° et à 40° B., contiennent d'ailleurs des proportions d'eau dont il y a lieu de tenir compte. Les tables de Kolb donnent ces proportions d'après le degré aréométrique, mais il y a lieu de remarquer que la présence des vapeurs nitreuses dans les acides recueillis augmente leurs densités et que le degré lu à l'aréomètre n'est qu'un degré apparent. Pour avoir le degré réel il faudrait chasser au préalable ces vapeurs nitreuses.

D'après quelques expériences faites au laboratoire de la poudrerie, on a pu construire la courbe ci-dessous qui donne, en fonction du taux pour cent en vapeurs nitreuses, la diminution à faire subir au degré apparent pour avoir le degré réel.

Le degré d'exactitude de cette relation est suffisant pour la pratique (*fig.* 9).

Fig. 9.



D'après ces indications, on peut admettre qu'en moyenne l'acide à 48°, qui tient en dissolution 3 à 4 pour 100 de vapeurs nitreuses, renferme 15 pour 100 d'eau. Pour l'acide marquant 39° à 40°, qui

Digitized by Google

contient au maximum 1 pour 100 de ces vapeurs, le taux moyen en eau est de 40 pour 100.

En supposant tout l'acide recueilli, c'est-à-dire en faisant abstraction de toutes les pertes, et, en appelant n, s et e les proportions des acides nitrique et sulfurique et de l'eau, contenues dans 100^{kg} de vieux acides, les rendements théoriques en acides à 48° et à 40°; n_{48} et n_{40} seraient donnés par les équations

$$(1) \qquad n_{40} \times 0{,}40 + n_{48} \times 0{,}15 = e \times \frac{115{,}29}{s},$$

$$(2) \qquad n_{40} \times 0{,}60 + n_{48} \times 0{,}85 = 74{,}12 + n \times \frac{115{,}29}{s},$$

d'où l'on tire

$$n_{48} = 184{,}5 \times \frac{n}{s} - 276{,}7 \times \frac{e}{s} + 118{,}6,$$

$$n_{40} = 392{,}0 \times \frac{e}{s} - 69{,}2 \times \frac{n}{s} + 44{,}3.$$

Pour se servir, en pratique, de ces formules, il faudrait, pour ainsi dire, faire une analyse de vieux acides à chaque opération, et c'est une complication à laquelle on ne s'est jamais astreint. Sans aller jusque-là, il faudrait tout au moins former au préalable des lots homogènes et renoncer pour cela à l'emploi des émulseurs à air comprimé qui amènent directement les vieux acides des essoreuses à force centrifuge aux cornues de fabrication de l'acide nitrique.

Il est facile d'ailleurs de se rendre compte que de légères erreurs d'analyse donneraient lieu à des écarts bien plus considérables dans le calcul des rendements. Il suffit, pour cela, de prendre, par exemple, les deux dosages suivants s'appliquant à des vieux acides de composition peu différente.

	(1). Pour 100.	(2). Pour 100.
Acide sulfurique (s)	77	76
Acide nitrique (n).....	9	8
Eau (e).....	12	14
Vapeurs nitreuses.....	2	2

Digitized by Google

En transportant ces valeurs de s, n et e dans les formules, on obtient

	(1).	(2).
n_{48}.....	97,3	87,1
n_{40}.....	8,4	19,7

Ainsi une simple différence de 1 pour 100 dans les proportions d'acides nitrique et sulfurique peut diminuer de plus de 10 pour 100 le rendement de l'acide fort et doubler celui de l'acide à 40°.

Pour se rendre compte des rendements obtenus pratiquement à la poudrerie d'Angoulême, il paraît plus exact d'examiner l'ensemble des opérations de la fabrication de l'acide nitrique depuis le début, c'est-à-dire depuis 1888, jusqu'à la fin de 1893.

Il résulte de l'examen des quantités de matières premières dépensées pendant cette période et des produits obtenus que :

100^{kg} de nitrate de soude pur et sec

et

$145^{kg},6$ de vieux acides

ont produit

$76^{kg},3$ d'acide à 48°

et

$21^{kg},7$ d'acide à 40°,

ce qui, en comptant les acides à 48° pour 85 pour 100 de leur poids en acide monohydraté et les acides à 40° pour 60 pour 100 seulement, donne un rendement total de

$$76,3 \times \frac{85}{100} + 21,7 \times \frac{60}{100} = 77^{kg},87.$$

Le rendement théorique est, en admettant pour les vieux acides un taux moyen de 9 pour 100 en acide nitrique (AzO^5, HO),

$$74,1 + 145,6 \times \frac{9}{100} = 87^{kg},20.$$

Le rapport du rendement réel au rendement théorique est, par suite, de

$$\frac{77,87}{87,20} = 89,3 \text{ pour } 100.$$

Ce résultat a d'ailleurs été contrôlé par le calcul des pertes, déduit du débit en eau des tours de condensation et de la teneur en acide nitrique des eaux recueillies.

Digitized by Google

La production moyenne d'un four a été de 460^{kg} environ d'acide à 48° par opération. Ce chiffre varie beaucoup avec la composition des vieux acides et aussi avec la température de l'air extérieur.

La substitution de la nouvelle méthode à l'ancienne a eu pour résultat d'augmenter d'un dixième environ la production en acide fort.

Quant à l'emploi d'acide sulfurique, il donne lieu à une production moyenne de 450^{kg} d'acide par four, soit encore environ 89 pour 100 du rendement théorique.

VII. — Prix de revient.

Les prix de revient des acides obtenus avec emploi de vieux acides peuvent s'établir ainsi qu'il suit, en prenant pour base les dépenses correspondant à 100^{kg} d'acide à 48°.

	fr
131^{kg} de nitrate de soude à 27^{fr},50 les 100^{kg}	36,02
190,9 de vieux acides à 2^{fr},15 les 100^{kg}	4,10
Main-d'œuvre	6,00
Frais généraux	8,00
Total	54,12

Ce total comprend la valeur des 28^{kg},4 d'acide à 40° obtenus en même temps.

Pour se rapprocher autant que possible de la valeur marchande que peut avoir l'acide faible à la poudrerie d'Angoulême, on admet comme coefficients de répartition les chiffres ci-dessous :

Pour l'acide à 48°	1,00
Pour l'acide à 40°	0,35

Dans ces conditions, les prix de revient sont respectivement de 49^{fr},20 et 17^{fr},30 les 100^{kg}. En tenant compte des variations de cours des matières premières, on peut dire que le prix de revient de l'acide à 48° est en moyenne de 50^{fr} les 100^{kg}. Cet acide n'est pas d'un usage courant dans le commerce, mais le peu qui en a été acheté en 1888, au début de la fabrication du coton-poudre, a été payé 98^{fr},95 les 100^{kg}. L'économie résultant de sa fabrication directe par l'État est donc de près de la moitié de sa valeur.

On remarquera qu'il n'a été tenu aucun compte de l'intérêt du

Digitized by Google

capital engagé. Cette manière d'opérer est tout à fait justifiée, si l'on veut bien remarquer que les dépenses de première installation, qui se sont montées à 250000^{fr} environ, ont été amorties en fort peu de temps par le bénéfice réalisé.

Avec emploi d'acide sulfurique neuf, le prix de revient des 100^{kg} s'élève à environ 62^{fr},50.

VIII. — Observations diverses.

Il importe, pour diminuer les frais généraux, de n'employer pour les appareils de la fabrique d'acide nitrique que des matériaux appropriés. La qualité de la fonte, notamment, influe beaucoup sur la durée des cornues. De même, certaines natures de poteries en grès qui résistent bien aux chocs ne conviennent pas pour les touries de condensation soumises à l'action de la chaleur et donnent lieu à des dépenses d'entretien bien plus considérables.

On remarquera que le rendement réel comparé au rendement théorique est assez faible. Ce fait paraît tenir à l'imperfection des moyens de condensation. Les touries subissent les alternatives de la température extérieure dont les écarts peuvent, entre l'hiver et l'été, s'élever à Angoulême jusqu'à 50° ou 60°; de plus, elles s'échauffent au contact des vapeurs à condenser et la condensation est d'autant moins active que la différence est plus faible entre la température de ces vapeurs et celle des parois. On augmenterait sensiblement les rendements par l'emploi de serpentins en grès maintenus à température constante.

Le mode d'extraction du bisulfate est également défectueux, mais il est difficile d'y rien changer avec la disposition actuelle des appareils dans l'atelier.

Pendant longtemps, on a dû, à grands frais, se débarrasser du bisulfate produit en le jetant à la mer au delà de l'embouchure de la Charente. Actuellement, il est acheté par une société qui a établi à proximité de la poudrerie une usine pour son utilisation industrielle.

Angoulême, le 4 avril 1894.

Digitized by Google

COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES.

COMPTE RENDU DES TRAVAUX

DE LA

COMMISSION

DES

SUBSTANCES EXPLOSIVES

PENDANT L'ANNÉE 1893 (1).

Ce rapport, établi conformément à l'article 4 du décret constituant la commission des substances explosives, comprend les objets suivants :

1° *Analyse des rapports adressés au ministre pendant l'année* 1893;

2° *Revue des travaux effectués pendant la même année.*

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année.

RAPPORT N° 78. — *Sur l'étude des dangers de transport et d'emmagasinage des explosifs Favier.*

(Étude confiée à la 2e section; rapporteur, M. BIJU-DUVAL.)

Par dépêche du 6 juillet 1892, le ministre de la guerre a chargé la commission des substances explosives :

1° De faire l'étude des explosifs Favier au point de vue des

(1) Voir **1** 432, **2** 573, **3** 171, **4** 205, **5** 68 et **6** 211 les *Comptes rendus* des travaux exécutés de 1878 à 1892.

Digitized by Google

transports, afin de déterminer, d'après des données certaines, le classement qui doit leur être assigné et les mesures que comporte leur envoi par chemin de fer;

2° De rechercher si, au point de vue de la conservation, il y a lieu d'assimiler les explosifs Favier aux dynamites, ou si, au contraire, il ne convient pas d'établir une distinction entre ces explosifs et les poudres à base de nitroglycérine.

L'étude devait porter exclusivement sur les matières encartouchées livrées au commerce par la Société française des poudres de sûreté.

Les essais ont porté sur trois types de poudre, présentant respectivement les compositions suivantes :

	Nitrate d'ammoniaque.	Binitro-naphtaline.
Poudre Favier n° 1.....	88,0	12,0
Grisoutine pour roche....	91,5	8,5
Grisoutine pour couche...	95,5	4,5

Ces matières, sous forme de cartouches de 40^{gr} et 100^{gr}, sont recouvertes d'un papier paraffiné après mise en place, enveloppé d'une seconde feuille de papier ordinaire.

Les essais de la commission ont porté sur le mode de combustion, la facilité de détonation et la sensibilité au choc des produits.

Les expériences de la commission ont mis en évidence la très faible combustibilité des poudres Favier : ces matières peuvent activer un incendie, mais ne paraissent pas susceptibles de le produire; dans aucun cas, les cartouches, même enfermées dans une caisse et projetées dans un foyer en combustion vive, n'ont donné lieu à détonation.

En ce qui concerne la facilité de détonation, les expériences de la commission ont montré que les détonateurs usuels, au fulminate de mercure, suffisent à provoquer la détonation complète à l'air libre des trois espèces d'explosifs, et que la détonation d'une cartouche se transmet par influence aux cartouches de même espèce placées, soit à son contact, soit même à une distance de quelques centimètres, lorsque ces cartouches sont placées bout à bout.

Digitized by Google

Au point de vue de la sensibilité au choc, les expériences de la commission établissent une différence très nette entre les explosifs Favier et les dynamites, les explosifs Favier paraissant, comme la mélinite et la crésylite, ne pas propager l'explosion résultant du choc du mouton sur ces matières, tandis que la dynamite donne lieu à une détonation complète.

En conséquence, la commission est d'avis qu'au point de vue des transports par voie ferrée, les explosifs Favier peuvent être assimilés aux matières simplement inflammables, telles que brai, goudron, etc.; qu'au point de vue de leur emmagasinage, ces explosifs peuvent être admis dans de petits dépôts incombustibles, isolés et placés à petite distance des habitations, mais qu'en ce qui concerne la surveillance de la détention et de l'emploi de ces matières, et l'usage criminel qu'il peut en être fait, il n'y a pas lieu de les distinguer des poudres à base de nitroglycérine.

Rapport n° 79. — *Sur l'étude des dangers de transport et d'emmagasinage des explosifs Favier.*

(Rapport complémentaire.)

(Étude confiée à la 2e section; rapporteur, M. Biju-Duval.)

Ce rapport complémentaire a été motivé par les observations de la Société française des poudres de sûreté, portées à la connaissance de la commission par une dépêche du ministre de la guerre, du 3 juin 1893.

La commission, se référant aux résultats de ces expériences, a maintenu sur tous les points les conclusions de son rapport antérieur.

Rapport n° 80. — *Sur une demande en autorisation pour la fabrication d'une dynamite-gomme.*

(Étude confiée à la 1re section; rapporteur, M. Vieille.)

Par dépêche du 17 juin 1893, le ministre de la guerre a soumis à l'examen de la commission des substances explosives une demande présentée par la Société générale de la dynamite, à l'effet

Digitized by Google

d'obtenir l'autorisation de fabriquer un nouveau type de dynamite présentant la composition suivante :

Nitroglycérine.....	92
Coton collodion.....	8

Le ministre invitait la commission à examiner si les produits de cette composition présentent des garanties suffisantes de stabilité pour que la fabrication puisse en être autorisée, et s'il y avait lieu d'imposer pour leur emballage des précautions spéciales.

La commission estime que le contrôle exercé dans les usines des demandeurs, par les agents des poudres et salpêtres, sur la fabrication des matières premières, et les épreuves effectuées dans les poudreries de l'État, sur le coton azotique qui doit être livré à l'industrie par application de la loi du monopole, constituent une garantie suffisante de la stabilité des explosifs fabriqués avec ces matières.

En ce qui concerne les propriétés physiques de l'échantillon présenté par la Société générale, la commission est d'avis que ce type de dynamite donne toute garantie contre l'exsudation dans les conditions normales d'emploi, et que, par suite, sa fabrication et son transport peuvent être autorisés sans danger pour la sécurité publique.

Rapport n° 81. — *Sur les nouveaux types de dynamite présentés par la Société française des explosifs.*

(Étude confiée à la 1re section ; rapporteur, M. Vieille.)

Le ministre de la guerre a soumis à l'examen de la commission, par dépêche du 14 juin 1893, une demande présentée par la Société française des explosifs, à l'effet d'obtenir l'autorisation de fabriquer quatre nouveaux types de dynamite présentant les compositions suivantes :

Digitized by Google

Grisoutine.	
Nitroglycérine	25
Nitrate d'ammoniaque	64
Nitrate de potasse	10
Cellulose nitrée	1

Gomme MB.	
Nitroglycérine	70
Coton azotique soluble	4
Nitrate de potasse	19
Cellulose	10

Gomme M.	
Nitroglycérine	74
Coton azotique soluble	6
Nitrate de potasse	15,5
Cellulose	4
Magnésie	0,5

Gélignite.	
Nitroglycérine	60
Coton azotique soluble	3
Nitrate de potasse	26,6
Cellulose	10
Magnésie	0,4

Le ministre invite la commission à examiner si les produits de cette composition présentent des garanties suffisantes de stabilité pour que la fabrication puisse en être autorisée, et s'il y a lieu d'imposer pour l'emballage des précautions spéciales.

La commission a écarté le type *grisoutine,* comme renfermant une cellulose de bois nitrée dont le mode de fabrication et de purification lui paraît insuffisamment défini.

Les trois autres types d'explosifs rentrent dans la catégorie des dynamites à base active et gélatinées qui, d'après l'expérience acquise en France et à l'étranger, présentent une sécurité suffisante dans la fabrication, la manipulation et l'emploi, lorsque la stabilité des matières premières est assurée et que l'état physique des produits fabriqués leur permet de résister aux causes normales d'exsudation.

En ce qui concerne la stabilité, la commission estime que la surveillance exercée dans l'usine de la Société française des explosifs, sur la fabrication de la nitroglycérine par les agents des poudres et salpêtres, et que les épreuves réglementaires auxquelles sont soumis les cotons azotiques, qui doivent être fournis par l'État à l'industrie par application de la loi du monopole, constituent des garanties suffisantes pour que les nouveaux types de dynamite puissent être autorisés.

D'autre part, les expériences de la commission ont montré que les échantillons adressés au laboratoire central des poudres présentaient une résistance suffisante à l'exsudation, dans des conditions beaucoup plus dures que celles qui résultent de la conserva-

Digitized by Google

tion de ces produits dans les cas d'emploi les plus défavorables de la pratique.

La commission estime, en conséquence, qu'il y a lieu d'autoriser la fabrication et le transport des explosifs présentés par la Société française des explosifs, à l'exception de la *grisoutine,* dont l'examen est réservé.

II. — Revue des travaux effectués pendant l'année 1893.

ÉTUDE N° 82.

Emploi des explosifs dans les mines.

La commission a cherché à étendre les mesures de pression qu'elle a faites antérieurement dans les trous de mine de diverses natures, au moyen des appareils crushers, au cas des grandes charges utilisées dans les travaux de guerre souterraine.

Les premiers essais effectués avec le concours de l'École du génie de Versailles, sur des fourneaux de grande dimension, n'ont pas donné de résultats, les appareils disposés dans les charges n'ayant pas été retrouvés.

La commission pense pouvoir remédier à cette difficulté et reprendre ses essais dans la campagne prochaine.

ÉTUDE N° 93.

Dangers de transport et d'emmagasinage des explosifs Favier.

Cette étude est terminée et a donné lieu, en 1893, à l'établissement des deux rapports n^{os} 78 et 79 analysés plus haut.

ÉTUDE N° 95.

Étude des dérivés de l'acide azothydrique.

La commission a entrepris l'étude des dérivés de l'acide azothydrique et spécialement de l'azothydrate d'ammoniaque et de l'azoture mercureux. La préparation de ces corps, leur mode de décomposition et leurs propriétés explosives ont fait l'objet de

Digitized by Google

nombreuses expériences effectuées dans le cours de l'année 1893.

Le maniement de l'azothydrate d'ammoniaque paraît relativement peu dangereux et l'étude de son fonctionnement en vase clos le met nettement hors de la catégorie des composés fulminants.

L'azoture mercureux, beaucoup plus sensible, présente des propriétés de l'ordre de celles du fulminate de mercure et paraît susceptible d'être préparé sans dangers excessifs.

Un grave accident survenu dans la préparation d'un faible échantillon d'azoture mercurique, dont le chef d'épreuve du laboratoire central, M. Chenel, a été victime, a montré que ce corps, alors même qu'il est manié avec une extrême prudence par un expérimentateur de grande habileté, présente des dangers de manipulation considérables qu'il importe de signaler à l'attention des chimistes.

ÉTUDE N° 96.

Examen d'une demande en autorisation pour la fabrication de quatre nouveaux types de dynamite.

Cette étude a donné lieu, en 1893, à l'établissement du rapport n° 81, dont l'analyse est donnée ci-dessus.

ÉTUDE N° 97.

Examen d'une demande en autorisation pour la fabrication d'une dynamite-gomme.

Cette étude, qui est terminée, a fait l'objet, en 1893, du rapport n° 80 analysé plus haut.

ÉTUDE N° 98.

Transport par voie ferrée de certains artifices du service de l'artillerie.

L'étude de cette question a donné lieu à un programme d'expériences. Les essais seront entrepris dès que les artifices demandés par la commission seront parvenus à la poudrerie de Sevran, où ils doivent être expérimentés.

Digitized by Google

ÉTUDE N° 99.

Importation de nouveaux types de dynamite présentés par M. Faille.

Cette étude, actuellement terminée, fera l'objet d'un prochain rapport.

ÉTUDE N° 100.

Conditions d'établissement des dynamitières souterraines.

Cette étude a pour but de rechercher dans quelles conditions les dynamitières souterraines devraient être établies pour s'opposer, dans la mesure du possible, aux conséquences redoutables que pourrait avoir leur explosion, soit pour la mine elle-même, soit pour les constructions de la surface.

La commission se propose d'étudier sur une échelle restreinte les dispositifs d'obturation automatique qui paraissent susceptibles de localiser les effets d'une explosion.

Si ces essais, dont le programme est actuellement soumis à l'approbation du ministre, donnent des résultats satisfaisants, elle se propose de faire appel au concours des services du génie pour l'établissement de galeries se prêtant à des expériences plus voisines de la pratique.

Paris, le 8 février 1894.

Vu :

Le président, BERTHELOT.

Le secrétaire, P. VIEILLE.

ANNEXE.

COMPOSITION DE LA COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES AU 31 DÉCEMBRE 1893.

Par décision du ministre de la guerre, en date du 2 août 1893, M. l'ingénieur en chef FAUCHER ayant été nommé directeur de la poudrerie de Sevran-Livry, en remplacement de M. l'ingénieur en chef LAMBERT, ce dernier est remplacé de droit, dans ses fonctions de membre titulaire de la commission, par M. FAUCHER.

Digitized by Google

Par dépêche du ministre de la guerre, en date du 27 novembre 1893, le président de la commission est informé que MM. MALLARD, inspecteur général des mines, LEDOUX et LE CHATELIER, ingénieurs en chef des mines, ont été nommés membres adjoints et temporaires de la commission des substances explosives, en vue de l'étude des conditions d'établissement des dynamitières souterraines.

En conséquence, l'état de la commission, au 31 décembre 1893, est le suivant :

MM. BERTHELOT, membre titulaire, président;
SARRAU, membre titulaire;
FAUCHER, membre titulaire;
LEHERLE, membre titulaire;
CASTAN, membre titulaire;
CORNU, membre titulaire;
HAFFEN, membre titulaire;
VIEILLE, membre titulaire, secrétaire.

BERTRAND, membre adjoint;
BIJU-DUVAL, membre adjoint;
BRUGÈRE, membre adjoint;
DÉSORTIAUX, membre adjoint;
DIDELOT, membre adjoint;
LARDILLON, membre adjoint;
LIOUVILLE, membre adjoint;
LOUIS, membre adjoint;
RUAULT, membre adjoint;
MALLARD, membre adjoint;
LEDOUX, membre adjoint;
LE CHATELIER, membre adjoint.

Digitized by Google

THÉORIE DES EXPLOSIFS;

PAR

M. Émile SARRAU,

Ingénieur en chef des poudres et salpêtres,
Membre de l'Institut.

PREMIÈRE PARTIE.

PROPRIÉTÉS GÉNÉRALES DES EXPLOSIFS.

On appelle *explosif* tout corps capable de se transformer rapidement en gaz à haute température.

Tantôt un explosif est le mélange de diverses substances produisant l'explosion par leurs actions chimiques réciproques; telles sont les poudres à base d'azotates ou de chlorates. On met en présence, dans ce cas, des corps combustibles (soufre et charbon) et un corps comburant (azotate ou chlorate).

Tantôt l'explosif est un composé défini (nitroglycérine, coton-poudre, picrate de potasse, fulminate de mercure, etc.) à éléments comburants et combustibles juxtaposés moléculairement, de manière à produire une sorte de combustion interne.

Il peut aussi être exempt d'oxygène; tel le chlorure d'azote qui, formé avec absorption de chaleur, se décompose avec dégagement de chaleur.

Les explosifs produisent de hautes pressions et développent du travail. Ces effets, utilisés dans la guerre et dans l'industrie,

Digitized by Google

peuvent être étudiés expérimentalement; on peut aussi les calculer théoriquement quand on connaît la composition de l'explosif et celle des produits de l'explosion, la température de ces produits et la loi de la vitesse des réactions.

L'exposé suivant a pour objet les connaissances que l'on possède à cet égard; il comprend les leçons professées à l'École d'application des poudres et salpêtres.

La première partie de ce travail a pour objet les propriétés générales des explosifs et, en particulier, les effets des explosifs en vases clos; la seconde partie traitera des effets des explosifs dans les armes.

CHAPITRE PREMIER.

LOIS MOLÉCULAIRES.

1. Nombres proportionnels. — La chimie attribue, à chaque corps simple, un nombre dit *proportionnel,* tel que la composition d'un corps composé est représentée par une formule $A^{\alpha}B^{\beta}C^{\gamma}\ldots$, dans laquelle A, B, C, ... sont les nombres proportionnels des éléments et α, β, γ, ... des nombres entiers. Cette formule signifie que les quantités pondérales des éléments formant le composé sont proportionnelles aux nombres αA, βB, γC, ...

La somme $e = \alpha A + \beta B + \gamma C + \ldots$ est un nombre que nous appellerons l'*équivalent du composé.*

2. Poids atomiques. — Le système de nombres proportionnels adopté dans le présent travail est celui dit des *poids atomiques,* que la théorie atomique considère comme représentant la plus petite quantité relative de chaque élément qui puisse entrer en combinaison (1).

Dans un grand nombre d'ouvrages français, notamment dans

(1) *Introduction à la théorie des explosifs* (*Mém. poudr. salp.,* 5 96).

Digitized by Google

le traité de M. Berthelot sur la *Force des matières explosives,* on emploie le système de nombres proportionnels dit des *équivalents,* dans lequel les nombres correspondants à certains corps sont moitié de leurs poids atomiques.

Le tableau I (p. 230) réunit les poids atomiques et les équivalents de quelques corps simples.

3. Poids moléculaires. — L'expérience a établi une loi (deuxième loi de Gay-Lussac), suivant laquelle *le produit du volume spécifique d'un corps simple gazéifié par son poids atomique, ou par un multiple simple de ce poids atomique, est une constante.*

Ce multiple est ce que l'on appelle le *poids moléculaire* du corps. Par exemple, le poids moléculaire est égal au poids atomique pour le mercure; il est double du poids atomique pour l'hydrogène, l'oxygène, etc.; quadruple pour le phosphore.

Pour quelques corps, le poids moléculaire varie avec la température. Ainsi, le poids moléculaire du soufre est égal à 6 fois le poids atomique à 300° et à deux fois ce même poids atomique à 1000°; le poids moléculaire de l'iode, double du poids atomique à 700°, lui devient égal à 1400°.

4. La même loi s'applique, pour les corps composés, à leur équivalent défini au n° 1, et les formules de la notation atomique sont telles que le poids moléculaire se confond avec cet équivalent pour tous les corps gazeux que l'on aura à considérer dans cet exposé.

Le tableau suivant résume les formules des poids moléculaires de quelques corps, simples ou composés, à l'état gazeux.

Tableau des poids moléculaires.

Noms.	Poids moléculaires.
Iode (à 1400°).....	I
Mercure.....	Hg
Potassium	K
Sodium	Na

Digitized by Google

Tableau des poids moléculaires (suite).

Noms.	Poids moléculaires.
Azote	Az^2
Carbone (théorie)	C^2
Chlore	Cl^2
Hydrogène	H^2
Iode (à 700°)	I^2
Oxygène	O^2
Soufre (à 1000°)	S^2
Oxyde de carbone	CO
Bioxyde d'azote	AzO
Acide chlorhydrique	HCl
Eau	H^2O
Acide carbonique	CO^2
Protoxyde d'azote	Az^2O
Acide sulfureux	SO^2
Acide sulfhydrique	H^2S
Arsenic	As^4
Phosphore	P^4
Gaz ammoniac	AzH^3
Cyanogène	C^2Az^2
Acétylène	C^2H^2
Formène	CH^4
Éthylène	C^2H^4
Méthyle	C^2H^6
Éther méthylique	C^2H^6O
Éther ordinaire	$C^4H^{10}O$

5. La loi expérimentale des volumes spécifiques, interprétée suivant l'hypothèse d'Avogadro et d'Ampère, conduit à considérer le poids moléculaire d'un corps comme la moindre quantité relative de ce corps pouvant exister à l'état libre (1).

On peut concevoir ainsi les corps comme des assemblages de *molécules* formées d'*atomes* dont les poids relatifs respectifs sont représentés par les nombres appelés *poids moléculaires* et *poids atomiques*.

(1) *Introduction à la théorie des explosifs* (*Mém. poudr. salp.*, 5 95).

Digitized by Google

Dans cet ordre d'idées, on se figure la molécule de mercure comme réduite à un seul atome et on l'appelle *monoatomique*.

Les molécules de l'hydrogène, de l'azote, de l'oxygène, de l'oxyde de carbone, etc., considérées comme formées de deux atomes, sont dites *diatomiques*.

Les molécules de l'eau (gazeuse), de l'acide carbonique, etc. sont *triatomiques;* celles du phosphore, du gaz ammoniac, etc. sont *tétratomiques* et ainsi de suite.

6. Volumes moléculaires. — On appelle *volume moléculaire* d'un gaz le produit de son volume spécifique par son poids moléculaire.

Il résulte de ce qui précède que ce volume moléculaire est une constante; si donc on désigne par v_0 le volume spécifique, par ϖ le poids moléculaire, on a la relation

$$\varpi v_0 = h, \tag{1}$$

h étant une constante.

Le poids moléculaire de l'hydrogène étant 2, la valeur de h est le double du volume spécifique de l'hydrogène qui est 11160 (unités : litre et kilogramme).

Par suite, on a $h = 22320$, et le volume spécifique d'un gaz quelconque est donné par la formule

$$v_0 = \frac{22320}{\varpi},$$

dans laquelle la valeur de ϖ est le nombre correspondant aux symboles du tableau précédent (n° 4), calculé avec les poids atomiques du tableau I (p. 230).

7. Chaleurs moléculaires. — On appelle *chaleur moléculaire* le produit de la chaleur spécifique par le poids moléculaire.

Aux deux chaleurs spécifiques (c', c), à pression constante et à volume constant, correspondent deux chaleurs moléculaires $(\varpi c', \varpi c)$ dont la différence est une constante pour tous les gaz parfaits (1).

(1) *Introduction...*, *loc. cit.*, p. 143.

Digitized by Google

Avec les unités adoptées, la valeur de cette constante est sensiblement égale à 2 et l'on a, pour tous les gaz : $\varpi c' - \varpi c = 2$.

Dans ce qui suit, nous n'aurons à considérer que la chaleur moléculaire ϖc à volume constant.

8. Des recherches expérimentales, sur lesquelles nous reviendrons dans un chapitre suivant, ont montré que la chaleur spécifique à volume constant des gaz diatomiques (H, Az, O, CO), au lieu d'être constante, comme on l'avait admis à la suite d'expériences faites entre 0° et 200°, augmente sensiblement quand on passe de la température ordinaire à des températures très élevées, telles que 2000° ou 3000°.

Pour d'autres gaz (H^2O et CO^2), l'accroissement est tel que la chaleur spécifique à 0° est triplée vers 2500°.

Nous représenterons cette variation par une fonction linéaire de la température, en posant, pour la chaleur moléculaire à volume constant,

$$\varpi c = a + bt, \tag{2}$$

a, b désignant des constantes spécifiques.

Il résulte des expériences que les constantes a, b sont les mêmes pour les gaz diatomiques (H, Az, O, CO) et qu'elles ne diffèrent pas beaucoup pour les gaz triatomiques (H^2O, CO^2); nous en déterminerons ultérieurement les valeurs.

9. Pour les gaz monoatomiques, on n'a pas d'expériences directes; mais si l'on admet, pour le rapport de leurs chaleurs spécifiques, la valeur $\frac{5}{3}$ trouvée par MM. Kundt et Warburg pour la vapeur de mercure, les deux relations $\frac{\varpi c'}{\varpi c} = \frac{5}{3}$, $\varpi c' - \varpi c = 2$ conduisent aux valeurs $\varpi c' = 5$, $\varpi c = 3$.

La théorie conduit d'ailleurs à admettre que ces valeurs ne dépendent pas de la température (1).

(1) *Introduction..., loc. cit.*, p. 164.

Digitized by Google

CHAPITRE II.

DONNÉES THERMOCHIMIQUES.

I. — Principes de thermochimie.

10. Les principes généraux de la thermochimie sont résumés dans un exposé antérieur (1); nous rappellerons ici celles de ces notions qui sont utiles à l'objet particulier que nous avons en vue.

Principe d'équivalence. — Supposons qu'un système se transforme chimiquement sous pression constante; soient

U_1, U_2 les valeurs initiale et finale de l'énergie (en calories);
v_1, v_2 les valeurs initiale et finale du volume;
p la pression;
Q la chaleur dégagée;
A l'équivalent calorifique du travail.

On a la relation (2)

$$Q = U_1 - U_2 + Ap(v_1 - v_2) \tag{3}$$

qui exprime que *la chaleur dégagée par la réaction est égale à la perte d'énergie du système, plus l'équivalent calorifique du travail des forces extérieures.*

11. On a, de plus, établi que *la chaleur dégagée dans un changement d'état chimique est égale à l'excès de la chaleur de formation de l'état final sur la chaleur de formation de l'état initial* (3).

Si donc on désigne par q_1, q_2 les chaleurs dégagées par la formation des corps de l'état initial et de l'état final par leurs éléments, sous la pression constante p, on a

$$Q = q_2 - q_1. \tag{4}$$

(1) *Introduction..., loc. cit.*, p. 167.
(2) *Ibid.*, p. 169.
(3) *Ibid.*, p. 170.

Digitized by Google

Les relations (3) et (4) sont d'une application continuelle.

12. On a souvent à évaluer, dans les applications thermochimiques, la variation d'énergie due à une modification thermique, sans changement d'état physique ou chimique du corps.

Dans le cas où ce corps est un gaz parfait, l'énergie U ne dépend que de la température et, pour l'unité de poids, on a $dU = c\,dt$, c désignant la chaleur spécifique à volume constant (1). Par suite, pour un poids m passant de la température t_0 à la température t, la variation de U est

$$\Delta U = m\int_{t_0}^{t} c\,dt. \tag{5}$$

Dans tout autre cas, l'énergie dépend des deux variables de l'état du corps (t, v) ou (t, p). Toutefois, pour un solide ou pour un fluide éloigné de l'état critique, on a approximativement

$$\Delta U = m\int^{t} c'_0\,dt, \tag{6}$$

c'_0 désignant la chaleur spécifique à pression constante déterminée, dans les conditions habituelles des expériences, sous la pression atmosphérique normale (2).

On a alors, pour un système de corps mélangés,

$$\Delta U = \int_{t_0}^{t} \Sigma mc\,dt, \tag{7}$$

le Σ s'étendant à toutes les valeurs de m, et c devant être remplacé par c'_0 pour tout corps non gazeux du mélange.

13. Dans les conditions ordinaires des expériences, l'équivalent calorifique du travail extérieur, c'est-à-dire le terme $Ap(v_1 - v_2)$ de la formule (3), est une petite fraction de la chaleur dégagée; on peut la négliger. On a alors simplement $Q = U_1 - U_2$, et la chaleur dégagée mesure ainsi la perte d'énergie due à la réaction.

De plus, si l'on admet la formule (6), les valeurs de U_1 et U_2 dépendent seulement des températures correspondantes. Lorsque

(1) *Introduction...*, *loc. cit.*, p. 146.
(2) *Ibid.*, p. 148.

Digitized by Google

les corps de l'état initial et de l'état final sont à la même température, la chaleur dégagée Q dépend, non seulement de cette température, mais encore de l'état physique qu'il est nécessaire de spécifier pour chaque corps.

Les tables établies par M. Berthelot, d'après ses propres déterminations et celles des différents expérimentateurs, font connaître la chaleur dégagée par les principales combinaisons, sous la pression atmosphérique normale, les composants et les composés étant pris à la température de $+15°$ (1).

Chaque nombre de ces tables correspond à la formation d'un équivalent du composé; les poids équivalents sont exprimés en grammes, les quantités de chaleur en calories.

II. — Mesures calorimétriques.

14. Les tables thermochimiques font connaître les chaleurs de formation (par les éléments) de la plupart des corps explosifs ou susceptibles d'entrer dans des mélanges explosifs; on y trouve aussi les chaleurs de formation des corps produits ordinaires des explosions.

La formation directe d'un explosif par ses éléments est en général irréalisable; la chaleur dégagée par cette formation s'obtient par différentes voies indirectes où l'on utilise la relation (4) du n° 11.

15. Méthodes calorimétriques. — M. Berthelot y est parvenu, pour les explosifs azotés, en mesurant la chaleur dégagée par la réaction de l'acide azotique sur les substances organiques (2).

Soit un explosif B résultant de la nitration d'une substance organique A suivant la formule

$$A + n\,AzO^3H = B + n\,H^2O.$$

(1) Pour avoir la perte d'énergie produite par une réaction, il faut retrancher de la chaleur dégagée correspondante fournie par les tables l'équivalent calorifique du travail de la pression atmosphérique, c'est-à-dire le terme $Ap(v_1 - v_2)$ de la formule (3). Le calcul se fait suivant une formule due à M. Berthelot, rappelée dans notre *Introduction*... (*loc. cit.*, p. 158). En fait, la correction qui en résulte peut être considérée comme négligeable, dans l'ordre d'approximation que comporte l'application des théories aux substances explosives.

(2) *Force des matières explosives*, t. II, p. 9.

Digitized by Google

Soit q la chaleur dégagée par l'opération; en désignant par a, b, c, d les chaleurs de formation de A, B, AzO^3H, H^2O, on a, d'après la relation (4) du n° 11,

$$q = b + nd - a - nc,$$

a, c, d étant connus, et q étant déterminé par expérience, on calcule b par la formule $b = q + a + n(c - d)$.

On peut employer deux autres méthodes.

16. Quand on connaît exactement les produits de la décomposition d'un explosif, il suffit de recueillir dans un calorimètre la chaleur dégagée par cette décomposition. En désignant par

q la *chaleur de décomposition* mesurée;
q_1 la chaleur de formation de l'explosif (état initial);
q_2 la chaleur de formation des produits de l'explosion (état final),

on a, d'après la relation (4), $q = q_2 - q_1$ et l'on en déduit q_1, puisque l'on connaît q et q_2.

Cette méthode a été appliquée à la nitroglycérine, au coton-poudre et au fulminate de mercure (1).

Quand les produits de la décomposition sont imparfaitement connus ou trop compliqués, il est préférable de recourir à une méthode générale qui consiste à brûler le corps dans une atmosphère d'oxygène en excès, dans un récipient à parois de platine, de manière à le changer complètement en eau, acide carbonique et azote. On applique encore la relation $q = q_2 - q_1$, dans laquelle q désigne alors la *chaleur de combustion* de l'explosif, q_1 la chaleur de formation de cet explosif, q_2 la chaleur de formation des produits de sa combustion.

Cette méthode a été employée pour le picrate de potasse, le picrate d'ammoniaque et l'azotate de diazobenzol (2).

17. Appareils calorimétriques. — On trouve, dans l'*Essai de mécanique chimique* de M. Berthelot et dans l'ouvrage du

(1) *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, t. XCIII, p. 213 et 269. — *Mém. poudr. salp.*, 2 6.

(2) *Comptes rendus...*, *loc. cit.*, et *Mém. poudr. salp.*, 1 102.

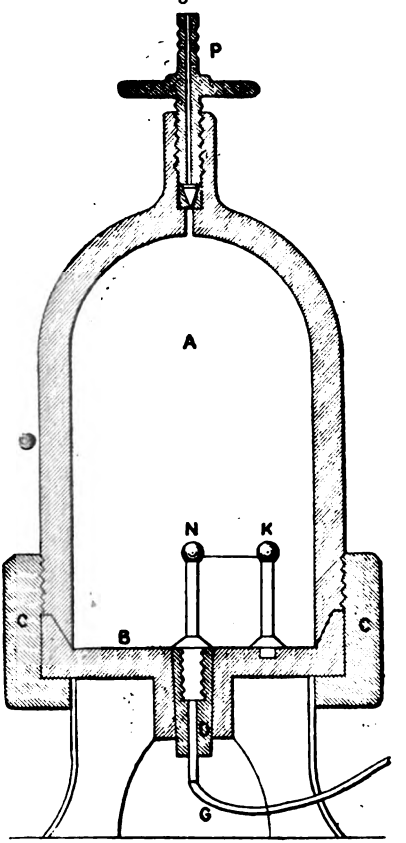
Digitized by Google

même auteur *Sur la force des matières explosives,* tout ce qui concerne les appareils calorimétriques.

Nous décrirons ici le dispositif employé par MM. Sarrau et Vieille à l'occasion d'études entreprises par la Commission des substances explosives, en 1879 et 1880.

Cet appareil, dit *éprouvette calorimétrique* (*fig.* 1), se compose :

Fig. 1.



1° D'une boîte cylindrique A ouverte à l'une de ses extrémités et terminée à l'autre par une calotte sphérique.

Cette pièce, en fer forgé, s'obtient par emboutissage et présente une grande résistance malgré sa faible épaisseur.

2° D'une cuvette à fond plat B qui s'adapte à l'extrémité

Digitized by Google

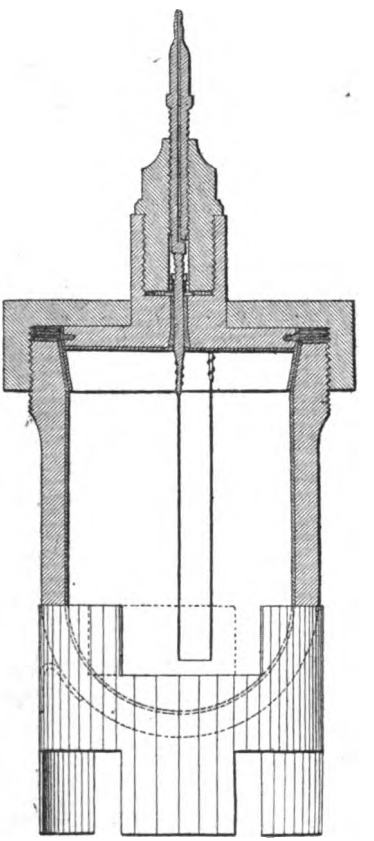
ouverte de la boîte cylindrique. Le joint se fait sur des surfaces coniques ménagées sur les deux pièces et rodées l'une sur l'autre.

3° D'un écrou C qui sert à réunir les deux pièces précédentes.

L'éprouvette est munie, à sa partie supérieure, d'un robinet à pointe P qui permet de recueillir les gaz.

La mise de feu se produit intérieurement par l'incandescence

Fig. 2.



électrique d'un fil métallique tendu entre la borne K et une tige de cuivre N traversant une pièce conique en ébonite D.

La capacité de l'éprouvette est de 300^{cc} environ.

L'éprouvette est plongée dans l'eau d'un calorimètre. Le calorimètre est un vase cylindrique en cuivre rouge de 0^{m}, 140 de dia-

Digitized by Google

mètre et de 0^m, 180 de hauteur, renfermant 1^{kg}, 800 d'eau; il est entouré d'une enceinte identique à celle qui a été adoptée et décrite par M. Berthelot (1).

La mesure des températures se fait avec des thermomètres Baudin gradués en cinquantièmes de degré et permettant l'évaluation de $\frac{1}{200}$ de degré. Les excès de température produits dans le calorimètre dépassent rarement 3°.

Lorsque la décomposition d'un explosif dégage de l'oxygène libre, ou lorsque sa combustion se produit dans un excès d'oxygène, il faut que l'éprouvette soit doublée intérieurement de platine, pour éviter l'oxydation de la paroi. La *fig.* 2 ci-dessus fait connaître les détails d'une éprouvette établie dans ces conditions (2).

18. Mesure des quantités de chaleur. — Pour avoir la chaleur dégagée par la décomposition d'un explosif, il suffit d'observer la température de l'eau du calorimètre lorsque, l'éprouvette y étant plongée, l'équilibre est établi, de produire la déflagration et de mesurer la variation de la température du bain quand celle-ci est redevenue stationnaire. En désignant par δ cette variation et par p le poids total de l'appareil calorimétrique réduit en eau, la chaleur dégagée est $p\delta$.

Voici les éléments d'une détermination (3) :

Coton-poudre du Moulin-Blanc; charge de l'éprouvette..... 3^{gr}

Poids en eau de l'appareil calorimétrique.	Éprouvette en fer forgé.....	$2^{kg},16500 \times 0,1138 = 0,2464$
	Calorimètre et support (cuivre rouge).....	$0,89680 \times 0,0951 = 0,0853$
	Cone de mise de feu (laiton)..	$0,00682 \times 0,0939 = 0,0006$
	Eau.....	1,8000
		Poids total $p = 2,1323$

Excès observé de la température..... $\delta = 1°,44$

Chaleur dégagée par 3^{gr}..... $p\delta = 3,0705$

Chaleur dégagée par 1^{kg}..... $1023^{cal},5$

(1) *Essai de Mécanique chimique*, t. I, p. 167.

(2) *Archives de la Commission des substances explosives*, étude n° 3, 2e partie, pièce n° 4.

(3) *Ibid.*, étude n° 3, 1re partie, pièce n° 14.

Digitized by Google

19. Résultats d'expériences. — Voici maintenant les résultats obtenus, pour quelques explosifs, suivant ces méthodes et avec ces appareils.

1° *Nitroglycérine :* $C^3H^5O^9Az^3 = 227^{gr}$.

La chaleur de décomposition dans l'éprouvette calorimétrique (à l'état de dynamite et dans une atmosphère inerte d'azote) a été trouvée égale à 1600^{Cal} par kilogramme, soit $363^{Cal},2$ par équivalent.

La formule des produits de la réaction, dans les conditions de l'expérience, est la suivante :

$$3CO^2 + \tfrac{5}{2}H^2O + 3Az + \tfrac{1}{2}O.$$

De ces données, on déduit, par équivalent,

Chaleur de formation des produits (1).....	$q_2 =$	454,5
Chaleur de décomposition (sous pression constante) (2)..	$q =$	360,5
Chaleur de formation de l'équivalent de l'explosif.....	$q_1 =$	+ 94,0

2° *Coton-poudre :* $C^{24}H^{29}O^{42}Az^{11} = 1143^{gr}$.

Cette substance donne, en vase clos, des réactions variables avec la pression; on a choisi, pour l'épreuve calorimétrique, le mode de décomposition correspondant à une densité de chargement égale à 0,023 et représenté exactement par la formule

$$15CO + 9CO^2 + 9H^2O + 11H + 11Az.$$

Dans ces conditions, la chaleur de décomposition (sous volume constant) est de 1070,7 par kilogramme, soit 1223,8 par équivalent.

---

(1) Ce nombre se décompose comme il suit :

Formation de $3CO^2$.....	$94,0 \times 3$	$= 282,0$
» $\frac{5}{2}H^2O$	$69,0 \times \frac{5}{2}$	$= 172,5$
		454,5

Les chaleurs de formation de CO^2 et H^2O (liquide) sont empruntées aux tables publiées par M. Berthelot, *Force des matières explosives*, t. I.

(2) En appliquant à la chaleur mesurée sous volume constant la correction mentionnée, en note, au n° 13.

Digitized by Google

On a donc, par équivalent :

Chaleur de formation des produits	$q_2 =$	1843,3
Chaleur de décomposition (sous pression constante).....	$q =$	1203,8
Chaleur de formation de l'équivalent de l'explosif	$q_1 =$	+ 639,5

3° *Picrate d'ammoniaque :* $C^6H^6O^7Az^4 = 246^{gr}$.

Cette substance a été brûlée dans l'oxygène pur; la formule des produits de la combustion est

$$6\,CO^2 + 3\,H^2O + 4\,Az.$$

Les résultats obtenus sont les suivants :

Chaleur de combustion (sous volume constant)	par kilogramme	2818,0
	par équivalent.....	693,2

d'où, par équivalent,

Chaleur de formation des produits	$q_2 =$	771,0
Chaleur de combustion (sous pression constante).....	$q =$	690,9
Chaleur de formation de l'équivalent de l'explosif.....	$q_1 =$	+ 80,1

20. Tableau numérique. — Le tableau II (p. 231) résume les chaleurs de formation des corps principaux que l'on peut avoir à considérer dans les recherches relatives aux explosifs; les nombres de ce tableau sont extraits des tables, publiées, par M. Berthelot, dans l'*Annuaire du Bureau des longitudes* pour 1895.

Les chaleurs de formation (calories) se rapportent à l'équivalent de chaque corps (grammes).

III. — Température théorique des réactions explosives.

21. Formule fondamentale. — Voici maintenant comment on applique, au calcul de la température d'une réaction explosive, les données acquises sur les chaleurs spécifiques et les chaleurs de formation.

Considérons un poids quelconque d'un explosif, dans une capacité close, à la température t_0; soit U_1 son énergie (exprimée en calories). On détermine l'explosion; l'explosif se décompose et se

Digitized by Google

transforme en produits, à la température t, sans aucun travail extérieur. Si donc on admet qu'aucune quantité de chaleur n'ait été absorbée par les parois pendant la durée très courte de la transformation, l'énergie du système ne change pas; elle conserve la valeur initiale U_1. Imaginons maintenant que, sans changer d'état physique, tous les produits soient amenés à la température t_0 et soit U_2 leur énergie finale. La variation $U_2 - U_1$, correspondant à cette transformation thermique, s'évalue par la formule (7) du n° 12, qu'il faut appliquer en observant que, dans le cas actuel, la température passe de t à t_0, de sorte que l'on a

$$U_1 - U_2 = \int_{t_0}^{t} \sum mc\,dt.$$

D'ailleurs, d'après l'équation (3) du n° 10, la différence $U_1 - U_2$, quand on néglige le terme très petit $Ap(v_1 - v_2)$, est mesurée par la quantité de chaleur Q que la réaction dégage, sous la pression atmosphérique normale, à la température t_0; enfin, cette quantité de chaleur Q est égale, d'après la relation (4) du n° 11, à l'excès de la chaleur de formation q_2 des produits sur la chaleur de formation q_1 de l'explosif, ces chaleurs de formation se rapportant à la température t_0. On a donc

$$\int_{t_0}^{t} \sum mc\,dt = q_2 - q_1 \tag{8}$$

et si, pour chaque produit dont le poids est m, on connaît c en fonction de t, cette relation constitue une équation qui détermine t, c'est-à-dire la température de l'explosion.

22. Il importe de remarquer que, dans l'application de l'équation (8), les produits de l'explosion doivent être envisagés dans l'état où ils sont à la température t, et non dans l'état, généralement différent, où ils peuvent se trouver en fait quand leur température est devenue t_0. De même, dans l'évaluation de la chaleur de formation q_2, il faut considérer chacun des produits de l'explosion à l'état physique où il se trouve à la température élevée de la réaction; l'eau, par exemple, doit être regardée comme gazeuse.

23. Dans l'équation (8), m désigne le poids de l'un quelconque

Digitized by Google

des produits de la réaction; on peut aussi le désigner par $n\varpi$, ϖ étant le poids moléculaire de ce produit, de manière à introduire les chaleurs moléculaires. La formule devient ainsi

$$\int_{t_0}^{t} \sum n\varpi c\,dt = q_2 - q_1. \tag{9}$$

En supposant que la chaleur moléculaire soit représentée par une fonction linéaire de la température (n° 8), on peut poser

$$\varpi c = a + bt$$

et l'on a ainsi

$$\int_{t_0}^{t} \varpi c\,dt = a(t - t_0) + \tfrac{1}{2} b(t^2 - t_0^2)$$

ou simplement, en prenant $t_0 = 0$,

$$\int_{0}^{t} \varpi c\,dt = at + \tfrac{1}{2} bt^2.$$

En posant alors

$$A = \sum na, \qquad B = \tfrac{1}{2} \sum nb, \qquad q = q_2 - q_1,$$

l'équation (9) devient

$$At + Bt^2 = q \quad \text{ou} \quad Bt^2 + At - q = 0. \tag{10}$$

En supposant $q > 0$, cette équation a deux racines de signes contraires; la racine positive est celle qui répond à la question (1).

Dans l'équation (10), la valeur de q se rapporte à la température 0; on ne commet qu'une erreur tout à fait négligeable en se servant, pour la calculer, des tables thermochimiques établies pour la température de $+15°$.

24. Les coefficients A et B de cette équation étant positifs, il est nécessaire que q le soit aussi pour que l'équation admette une racine positive, c'est-à-dire corresponde à un phénomène réellement explosif. On a donc forcément $q_2 > q_1$ dans toute réaction explosive et il faut avoir égard à cette relation essentielle

(1) Ce mode de calcul est dû à MM. Mallard et Le Chatelier (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCII. — *Bulletin de la Société de physique*, juillet 1888).

Digitized by Google

dans les diverses hypothèses que l'on peut faire sur la nature des produits. En particulier, si q_1 est positif, c'est-à-dire si l'explosif est exothermique, il est impossible que la réaction ne produise que des corps simples, car on aurait, dans ce cas, $q_2 = 0$ et q serait négatif. Au contraire, la décomposition d'un corps endothermique peut donner et donne, en effet, généralement, des corps simples.

25. Le tableau III (p. 233) fait connaître les valeurs (a, b) que nous admettrons provisoirement.

Nous supposerons, ce qui paraît sensiblement vrai, que les gaz parfaits, dont la molécule renferme le même nombre d'atomes, ont la même chaleur moléculaire.

Pour les gaz monoatomiques, nous prenons $a = 3$, $b = 0$, d'après des considérations précédemment rappelées (n° 9).

Pour les gaz diatomiques, nous supposons $a = 4{,}8$ et, pour les gaz triatomiques, $a = 6{,}2$, d'après les expériences faites par Regnault entre 0° et 200°. Les valeurs admises pour b résultent des expériences sur les mélanges gazeux explosifs décrites au chapitre suivant.

Pour les corps non gazeux, la chaleur spécifique varie avec la température moins rapidement que pour les gaz; à défaut de données précises à cet égard, nous négligeons cette variation, ce qui revient à prendre, pour ces corps : $b = 0$. Les nombres a relatifs à ces corps sont extraits de la table analogue publiée par M. Berthelot (1).

Les nombres du tableau correspondent aux unités (kilogramme, calorie).

26. Il importe de remarquer que les tables thermochimiques donnent les chaleurs de formation exprimées en calories des équivalents exprimées en *grammes;* on devra donc multiplier par 1000 les nombres donnés par les tables afin d'évaluer avec la même unité de poids (kilogramme) les quantités q, A, B qui figurent dans l'équation (10).

(1) *Force des matières explosives*, t. I, p. 217.

Digitized by Google

CHAPITRE III.

LES SYSTÈMES GAZEUX EXPLOSIFS.

I. — Étude expérimentale.

27. Gaz définis explosifs. — Les gaz composés dont la formation, par leurs éléments, a lieu avec absorption de chaleur, sont susceptibles de se décomposer avec explosion. Tels sont les composés oxygénés du chlore qui détonent, soit par compression brusque, soit par échauffement. La même propriété appartient à d'autres gaz, tels que les composés oxygénés de l'azote, l'acétylène, le cyanogène, le sulfure de carbone, dont M. Berthelot a produit l'explosion sous l'influence du fulminate de mercure (1).

28. Mélanges gazeux explosifs. — Il existe aussi un grand nombre de mélanges gazeux explosifs; leur étude est particulièrement intéressante parce que les gaz, ayant des propriétés plus simples et mieux définies que celles des solides et des liquides, se prêtent davantage à l'établissement des théories.

Cette étude consiste dans la mesure des pressions développées par l'explosion des mélanges dans des capacités closes où les gaz sont introduits dans les conditions ordinaires de température et de pression.

Dans les premières expériences, dues à M. Bunsen, les pressions étaient évaluées par le soulèvement d'une soupape chargée de poids (2). MM. Mallard et Le Chatelier, dont nous avons déjà cité les importantes recherches, ont employé, dans le même but, un manomètre métallique (3). M. Vieille a adopté, pour la mesure de ces pressions, une méthode qui consiste à enregistrer la loi du déplacement d'un piston, de masse et de section connues, soumis

(1) *Force des matières explosives*, t. I, p. 106.
(2) *Annales de Poggendorff*, t. CXXXI, p. 161.
(3) *Annales des mines*, 8e série, t. IV. — *Journal de physique*, 2e série, t. IV.

Digitized by Google

à l'action des gaz (¹). On déduit ensuite de la loi du mouvement les accélérations du piston et, par suite, les forces qui le sollicitent aux divers instants de son mouvement; voici quelques détails à ce sujet.

29. Appareil enregistreur. — Cet appareil « se compose d'un récipient en fer forgé dont la capacité varie, selon les expériences, de 300^{cc} à 4^{lit}. Sur l'un des fonds du récipient est vissé un tube cylindrique de $0^{m},015$ de diamètre intérieur, dans lequel se meut très librement un piston exactement ajusté. Le piston déborde à l'intérieur de $0^{m},04$ environ; on évite ainsi, lors de son mouvement, les pertes de charge qui pourraient résulter de la condensation ou du refroidissement des gaz dans un canal étroit. Le piston porte une plume mince en clinquant d'acier dont l'extrémité, convenablement guidée, décrit une ligne droite pendant le mouvement. Devant la plume tourne, avec une vitesse de 10^{m} à 15^{m} par seconde, un cylindre recouvert de papier enfumé.

» L'inflammation du mélange gazeux, introduit dans la bombe sous la pression atmosphérique, est produite par l'intermédiaire d'un petit ajutage cylindrique dans lequel on fait jaillir une étincelle électrique. Il en résulte dans la bombe une sorte de dard de chalumeau qui paraît accélérer la combustion générale. La plume du piston est placée dans le circuit électrique d'inflammation et l'on obtient sur le cylindre, à l'instant où jaillit l'étincelle, un point blanc très net qui donne, dans chaque expérience, une origine des temps bien définie, placée sur le cercle décrit par la plume dans sa position initiale.

» Sous l'influence de la pression, le piston se déplace et la plume trace une courbe qui se détache du cercle d'origine. Le piston bute, après $0^{m},05$ de course, sur un tampon en feutre contre lequel il reste appliqué, à moins que la condensation des gaz ne le rappelle à sa position initiale. La vitesse du cylindre est évaluée, au moment de l'explosion, au moyen d'un diapason entretenu électriquement. La courbe tracée sur le papier enfumé est relevée par des lectures faites au moyen d'un microscope mobile suivant deux axes rectangulaires, à l'aide de vis micrométriques munies de tambours divisés. »

(¹) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCV, p. 1280; 1882.

Digitized by Google

30. Voici les éléments d'une détermination :

Tracé n° 213. Gaz tonnant $H^2 + O$.
Piston pesant $13^{gr},595$.
Diapason n° 10. Valeur de la période : $0^s,001864$.
Vitesse du cylindre : $23^{mm},33$ par période.
Température : 14°. Pression atmosphérique : $762^{mm},8$.
Bombe en acier de 4^{lit}.
Distance de l'étincelle à l'origine de la courbe : $13^{mm},35$.

Lectures de la courbe.

Abscisses.	Ordonnées.	Différences premières.	Différences secondes.
mm	mm		
73,00	6,10		
		mm 0,76	
68,00	6,86		mm 1,56
		2,32	
63,00	9,18		1,56
		3,88	
58,00	13,06		1,69
		5,57	
53,00	18,63		1,68
		7,15	
48,00	25,78		1,62
		8,77	
43,00	34,55		1,58
		10,35	
38,00	44,90		1,41
		11,76	
33,00	56,66		

Les lectures ont été faites de 5^{mm} en 5^{mm} et correspondent à des intervalles de temps de $0^s,0004$.

La plus grande différence seconde est $1^{mm},69$.

La force motrice est donnée par la formule

$$F = m\frac{d^2y}{dt^2},$$

dans laquelle

$$m = \frac{p}{g} = \frac{0^{kg},013595}{9^m,8088},$$

$$d^2y = 0^m,00169, \qquad dt = \frac{5}{23,33} \times 001864,$$

d'où $F = 14^{kg},68$ sur la base du piston, qui est de $1^{cmq},692$, c'est-à-dire $8^{kg},67$ par centimètre carré.

Pour avoir la pression maximum des gaz, il faut ajouter à ce résultat la pression atmosphérique extérieure, soit 1,03 par centimètre carré; cette pression est donc $9^{kg},70$.

Digitized by Google

31. Influence du refroidissement. — Les tracés obtenus avec cet appareil montrent qu'un temps appréciable s'écoule entre l'inflammation du mélange et la production du maximum de pression. Pendant ce temps, la paroi de la bombe absorbe une partie de la chaleur due à la réaction et, par suite, la pression maximum est diminuée. L'effet de ce refroidissement est d'autant plus grand que la masse gazeuse est moindre par rapport à la surface intérieure du vase qui la renferme, et comme, pour un mélange donné, cette masse est mesurée par le volume du récipient qu'elle remplit sous la pression atmosphérique, l'effet du refroidissement ne dépend que du rapport $\frac{\sigma}{s}$ de la surface intérieure du récipient à son volume.

Le fait a été vérifié par M. Vieille; de plus, en réalisant diverses valeurs de ce rapport et en mesurant les pressions correspondantes, il a pu déterminer approximativement, par extrapolation, la valeur limite qui se produirait dans une enceinte imperméable à la chaleur (1).

32. L'effet du refroidissement dépend aussi de la durée qui s'écoule entre l'origine de l'inflammation et la production de la pression maximum. Cette durée, que le tracé permet d'évaluer dans chaque cas, varie avec la nature du mélange; ainsi, dans une bombe de 4^{lit}, cette durée est de $0^s,0016$ pour le mélange $(H^2 + O)$ et de $0^s,0267$ pour le mélange $(CO + O)$, c'est-à-dire qu'elle a varié dans le rapport de 1 à 16 environ.

Il n'a pas été possible jusqu'à présent de déterminer la loi suivant laquelle cette variable intervient; mais la connaissance de la valeur qu'elle a, dans chaque cas, permet de distinguer les cas où son influence est relativement amoindrie.

33. Expériences de MM. Berthelot et Vieille. — MM. Berthelot et Vieille ont fait connaître (2) les résultats d'un grand nombre d'expériences faites, suivant cette méthode, sur quarante-deux mélanges explosifs distincts formés avec l'hydrogène, l'oxygène, l'oxyde de carbone, le cyanogène, le protoxyde et le bioxyde

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCVI, p. 117; 1883.
(2) *Annales de chimie et de physique*, 6e série, t. IV, p. 17; 1885.

Digitized by Google

d'azote, le formène, l'éthylène, le méthyle, etc.; ils ont tiré de ces mesures des conséquences fort importantes pour l'étude théorique des températures de combustion, des chaleurs spécifiques et de la dissociation; nous renverrons pour cette discussion aux mémoires originaux, nous bornant à montrer ici comment ces résultats vérifient les valeurs que nous avons admises, au chapitre précédent, pour les chaleurs moléculaires des gaz.

II. — Calculs théoriques.

34. Données numériques. — Donnons d'abord le tableau des résultats qui paraissent le mieux appropriés à la vérification dont il s'agit.

1. N° d'ordre.	2. Mélanges et réactions théoriques.	3. Durée θ (millièmes de seconde).	4. $\frac{v_1}{v}$.	5. $\frac{p}{p_0}$ mesuré.	5. $\frac{p}{p_0}$ calculé.
				atm	atm
1.	$H^2+\frac{1}{2}O^2=H^2O$.....	1,04	$\frac{2}{3}$	9,80	9,80
2.	$H^2+\frac{1}{2}O^2+H^2=H^2O+H^2$...	1,67	$\frac{4}{5}$	8,82	9,00
3.	$H^2+Az^2O=H^2O+Az^2$.....	2,06	1	13,60	13,55
4.	$CO+\frac{1}{2}O^2=CO^2$.....	12,86	$\frac{2}{3}$	10,12	10,76
5.	$CO+Az^2O=CO^2+Az^2$.....	15,40	1	11,41	14,58
6.	$C^2Az^2+2O^2=2CO^2+Az^2$ ...	1,55	1	20,96	20,54
7.	$C^2Az^2+O^2=2CO+Az^2$	1,06	$\frac{3}{2}$	25,11	26,27
8.	$C^2Az^2+4AzO=2CO^2+3Az^2$.	»	1	16,92	19,82
9.	$C^2Az^2+4Az^2O=2CO^2+5Az^2$.	4,53	$\frac{7}{8}$	22,66	25,37
10.	$C^2Az^2+2AzO=2CO+2Az^2$.	»	$\frac{4}{5}$	23,34	23,46
11.	$C^2Az^2+2Az^2O=2CO+3Az^2$.	»	$\frac{8}{9}$	26,02	25,23

Les pressions mesurées de ce tableau correspondent au plus grand récipient (4^{lit}); elles y étaient ramenées, quand elles n'y étaient pas directement mesurées, à l'aide d'une correction spéciale, de manière à atténuer autant que possible l'influence du refroidissement (¹). Ces nombres sont tous rapportés, par le calcul, à l'état initial 0° et 760^{mm}.

Les durées θ (colonne 3), qui expriment (en millièmes de seconde) les durées écoulées entre le moment de l'inflammation

(¹) *Annales de chimie et de physique, loc. cit.*, p. 33.

Digitized by Google

et celui de la production du maximum de pression, se rapportent aux expériences faites dans la bombe de 300^{cc}.

35. Formule de la pression maximum. — En désignant par

p la pression maximum,
v le volume du récipient,
m le poids du mélange gazeux,
T la température absolue des gaz à l'instant du maximum,
v_0 le volume spécifique des gaz à cet instant,
p_0 la pression atmosphérique normale,

l'équation caractéristique des gaz parfaits donne exactement, et en dehors de toute hypothèse, la relation

$$pv = m\frac{p_0 v_0}{273}\,\mathrm{T}.$$

En appliquant cette équation à l'unité de poids du mélange, on peut l'écrire

$$\frac{p}{p_0} = \frac{1}{273}\frac{v_0}{v}\,\mathrm{T} \tag{11}$$

et, comme le récipient est supposé rempli dans les conditions normales (0° et 760^{mm}) de température et de pression, le volume v représente alors le volume spécifique du mélange de l'état initial. Si donc l'on considère comme état final celui qui est formé par les produits de l'explosion au moment du maximum de pression, $\frac{v_0}{v}$ est le rapport du volume spécifique de l'état final au volume spécifique de l'état initial.

36. Pour faire le calcul, il est nécessaire d'admettre des hypothèses servant à fixer les valeurs de v_0 et de T.

Nous supposerons que les mélanges gazeux dus à l'explosion sont constitués, au moment du maximum, conformément aux formules théoriques des réactions, c'est-à-dire qu'ils sont représentés par les seconds membres des équations chimiques.

Le rapport $\frac{v_0}{v}$ s'obtient alors bien aisément puisque, d'après les formules des réactions, la composition de l'état initial et celle de l'état final sont, dans le premier et le second membre de

Digitized by Google

chaque équation, représentées par des multiples du poids moléculaire de chaque corps, de telle sorte que, le volume moléculaire étant le même pour tous les corps, le rapport $\frac{v_0}{v}$ s'obtient en divisant la somme des multiples du second membre par la somme des multiples du premier. C'est ainsi qu'ont été obtenus les nombres de la colonne 4 du tableau.

En fait, lorsque les produits de l'explosion contiennent les gaz H^2O ou CO^2, ces corps peuvent être partiellement dissociés à la température élevée de la réaction; la valeur admise pour v_0 serait alors trop petite.

37. D'autre part, la température t de la réaction explosive se calculera par l'équation (10) du n° 23, dans laquelle la quantité de chaleur $q = q_2 - q_1$ s'obtient, dans la même hypothèse, en négligeant la dissociation partielle de l'état final et en attribuant, par suite, à la chaleur de formation q_2 de ces produits une valeur trop forte; la valeur de t et, par suite, celle de T seraient ainsi trop fortes.

Les deux erreurs possibles agissent donc en sens inverse; elles ne se détruisent pas, car, d'après une remarque faite depuis longtemps par M. Berthelot, la pression diminue en définitive par la dissociation. On voit cependant, par les nombres calculés du tableau, que les valeurs empiriques (a, b), admises (n° 25) pour représenter les chaleurs moléculaires apparentes des gaz, permettent de représenter les résultats d'expérience avec une assez grande approximation, au moins dans tous les cas où les valeurs de θ sont petites.

On peut supposer que, dans les expériences (4), (5), (9), l'augmentation de θ a produit la diminution de la pression par l'effet du refroidissement.

Il est à remarquer que les expériences (4), (6) sont bien représentées avec les valeurs (a, b) admises pour CO^2.

Dans le cas des mélanges à carbures, étudiés par MM. Berthelot et Vieille, les pressions mesurées sont moindres que les pressions calculées; mais, suivant une remarque des auteurs, la vitesse de combustion de ces carbures a été trouvée très voisine de celle de l'hydrogène, ce qui semble indiquer que l'hydrogène

Digitized by Google

brûle avant le carbone et la valeur de la pression maximum serait ainsi altérée.

38. L'influence du refroidissement est beaucoup moindre dans les applications usuelles des explosifs que dans la combustion des mélanges gazeux, parce que les masses sont alors beaucoup plus grandes par rapport aux surfaces de refroidissement; cette influence doit même disparaître lorsque les explosifs se décomposent suivant ce mode extrêmement rapide, que l'on signalera plus loin sous le nom de *détonation*. On peut donc admettre, au moins provisoirement, en vue de ces phénomènes, les valeurs (a, b) trouvées, notamment pour H^2O et CO^2, et les appliquer même à d'autres corps triatomiques, tels que SO^2, qui peuvent se présenter dans les applications.

Toutefois, dans quelques cas spéciaux où le refroidissement et la dissociation seraient prépondérants, il pourrait y avoir avantage à attribuer à b une valeur plus grande pour CO^2 que pour H^2O; on peut prendre par exemple $\frac{b}{2} = 0{,}003$, au lieu de $0{,}0025$, en conservant la valeur $a = 6{,}2$.

39. *Exemple.* — Soit, comme exemple, l'expérience (8) dans laquelle la réaction explosive est représentée par l'équation

$$C^2Az^2 + 4AzO = 2CO^2 + 3Az^2.$$

La température T se calcule comme il suit.

Prenant dans le tableau II (p. 230) la chaleur de CO^2 (état final), ainsi que celles de C^2Az^2 et AzO (état initial), on trouve

$$\begin{aligned} q_2 &= 94{,}3 \times 2 = \quad 188{,}6 \\ q_1 &= -73{,}9 - 21{,}6 \times 4 = -160{,}3 \\ q &= q_2 - q_1 = \quad 348{,}9 \end{aligned}$$

soit, en multipliant par 1000 (n° 23), $q = 348900$.

Pour le calcul de $A = \Sigma na$, $B = \frac{1}{2}\Sigma nb$, on remarque que, dans le second membre de l'équation, figurent 2 molécules de gaz triatomique et 3 molécules de gaz diatomique. D'après le tableau III (p. 233), il en résulte

$$\begin{aligned} A &= 6{,}2 \times 2 + 4{,}8 \times 3 = 26{,}8, \\ B &= 0{,}0025 \times 2 + 0{,}001 \times 3 = 0{,}008. \end{aligned}$$

Digitized by Google

L'équation (10) devient ainsi

$$0{,}008\,t^2 + 26{,}8\,t - 348900 = 0,$$

d'où

$$t = 5138° \qquad \text{et} \qquad T = 5138 + 273 = 5411.$$

D'ailleurs, dans le cas actuel, on a $\frac{\rho_0}{\rho} = 1$; la formule (11) donne par suite

$$\frac{p}{p_0} = \frac{1}{273} \times 5411 = 19{,}82.$$

On trouvera, dans la suite, d'autres exemples de tels calculs.

CHAPITRE IV.

LA MESURE DES HAUTES PRESSIONS.

40. Quand un explosif se décompose dans une capacité close et invariable, les gaz se produisent plus ou moins rapidement, suivant la nature de l'explosif et les conditions de l'expérience, et la pression atteint, après la décomposition totale, un maximum qui subsisterait indéfiniment dans une enveloppe imperméable à la chaleur. En fait, cette pression ne reste constante que pendant un temps généralement très court; elle décroît ensuite rapidement par suite du refroidissement des gaz par les parois de l'éprouvette.

La mesure des pressions en vase clos est d'une haute importance pour l'étude des explosifs ; elle présente des difficultés spéciales tenant à la grandeur des pressions qui atteignent des milliers d'atmosphères et à la rapidité avec laquelle ces pressions se développent. Elle a donné lieu à la création d'appareils remarquables parmi lesquels nous ne décrirons que le *manomètre à écrasement* ou *crusher,* qui, en raison de la simplicité et de la régularité de son fonctionnement, est aujourd'hui d'un emploi général.

Une étude détaillée sur ces manomètres a été publiée antérieu-

Digitized by Google

rement (1); nous croyons utile d'en donner ici un résumé présentant, sous une forme concise, tout ce qu'elle renferme d'essentiel.

I. — Manomètres à écrasement.

41. Avec le manomètre à écrasement, dit *crusher* (écraseur), imaginé par le capitaine Noble, de l'artillerie anglaise, on mesure l'écrasement d'un petit cylindre de cuivre placé entre une enclume fixe et la tête d'un piston, de section connue, dont la base reçoit l'action des gaz.

Le cylindre a 13^{mm} de hauteur, 8^{mm} de diamètre; il permet d'évaluer, avec une approximation convenable, des forces variant de 150^{kg} à 5500^{kg}.

42. Table de tarage. — A cet effet, on établit préalablement, comme il suit, une table de tarage.

On écrase le cylindre, lentement et progressivement, par quantités très petites, jusqu'à ce que le cylindre supporte sans déformation permanente une charge déterminée T; on mesure l'écrasement ε.

Deux séries de valeurs corrélatives de T et ε constituent une table de tarage.

43. La table de tarage établie, il reste à préciser la règle suivant laquelle ses indications peuvent être utilisées pour l'appréciation des pressions développées par les explosifs d'après les écrasements que ces pressions produisent dans des conditions autres que celles du tarage.

On admet à cet égard que, lorsque l'appareil fonctionne sous la pression variable des gaz, le maximum P de la force qui lui est appliquée est égal à la force de tarage T correspondant à l'écrasement mesuré ε.

Dans cette hypothèse, si l'on désigne par

p la pression maximum par unité de surface,
ω la surface de la base du piston,

(1) *Étude sur l'emploi des manomètres à écrasement pour la mesure des pressions développées par les substances explosives*, par MM. Sarrau et Vieille (*Mém. poudr. salp.*, 1 356; 1882).

Digitized by Google

on a la relation $P = p\omega$ et, en admettant $P = T$, on calcule la pression maximum rapportée à l'unité de surface par la formule

$$p = \frac{T}{\omega}.$$

L'exactitude de cette évaluation est loin d'être évidente ; elle ne peut être qu'approximative, et l'approximation obtenue ne peut être appréciée d'une manière générale que par une étude approfondie sur laquelle on donnera plus loin quelques détails.

On peut la contrôler expérimentalement, pour chaque détermination particulière, à l'aide du *manomètre enregistreur*.

44. Manomètre enregistreur. — On fixe au piston une plume en acier dont la pointe s'appuie sur un cylindre tournant, recouvert de papier enfumé, dont l'axe est parallèle à l'axe du piston.

Avant l'action des gaz, la plume trace sur le cylindre un cercle correspondant à la position initiale du piston. Lorsque le piston se meut par l'action des gaz, la plume trace une courbe sur le papier enfumé. Lorsque le piston s'arrête, la plume trace de nouveau un cercle correspondant à la position finale du piston.

La distance des deux cercles, estimée suivant une génératrice du cylindre tournant, est égale à l'écrasement total du cylindre de cuivre ; la distance des deux points de raccordement de la courbe avec ces deux cercles, estimée suivant la circonférence de l'un d'eux, représente la quantité dont le cylindre a tourné pendant la durée de l'écrasement. On en déduit la durée de l'écrasement quand on connaît la vitesse du cylindre.

Cette vitesse est évaluée en faisant vibrer, au moment du départ du piston, un diapason muni d'une plume. Ce diapason trace sur le cylindre une sinusoïde dont chaque ondulation correspond à un temps déterminé par un tarage préalable.

Après l'expérience, on détache la feuille enfumée ; on mesure la longueur de l'ondulation de la sinusoïde et l'on en déduit la vitesse du cylindre.

La courbe tracée sur le cylindre par la plume du piston écraseur est relevée par points au moyen de lectures au microscope ; elle donne l'espace parcouru par le piston en fonction du temps et l'on en déduit la vitesse et l'accélération du mouvement.

Digitized by Google

45. Désignons maintenant par

m la masse du piston,
u l'écrasement produit à l'instant t,
F la valeur à cet instant de la force mouvante du piston,
R la résistance du cylindre.

L'équation du mouvement est

$$m\frac{d^2u}{dt^2} = F - R. \tag{12}$$

L'expression de la force R n'est pas connue *a priori;* mais, si l'on admet qu'elle ne dépend que de l'écrasement u et non de la vitesse $\frac{du}{dt}$, ses valeurs numériques, pour chaque valeur de u, sont données par la table de tarage, le procédé adopté pour l'établir étant tel que, à la fin de chaque écrasement, il y ait exactement équilibre entre la résistance du cylindre et la charge qu'il supporte.

Cela posé, pour qu'à un instant on ait sensiblement $F = R$, il suffit qu'à cet instant la valeur de $m\frac{d^2u}{dt^2}$ soit négligeable; or il résulte de l'étude des courbes obtenues avec l'enregistreur qu'avec un piston de 60^{gr} il suffit que la durée de la décomposition de l'explosif dépasse quelques dix-millièmes de seconde pour que la condition requise soit remplie, non seulement à la fin du mouvement, mais encore sensiblement pendant toute la durée du mouvement.

Le fonctionnement de l'appareil est alors *statique*, comme dans le cas du tarage, et la force maximum P est effectivement égale à la force de tarage correspondant à l'écrasement total observé.

46. Voici un exemple d'une telle vérification (1). Il correspond à la combustion, dans une éprouvette close, d'une quantité de la poudre réglementaire dite C_1, telle que la densité de chargement (rapport du poids de la poudre au volume de l'éprouvette : unités,

(1) Note de MM. Sarrau et Vieille (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CII, p. 1055; 1886).

Digitized by Google

kilogramme-litre) était 0,650. Le poids du piston était de 60^{gr}.

On a mesuré sur le tracé les ordonnées correspondant à des abscisses croissant par intervalles égaux de 2^{mm}, la longueur de 2^{mm} représentant, d'après la vitesse du cylindre tournant, une fraction très petite de seconde $\theta = 0{,}000317$, et l'on a rectifié les valeurs de ces ordonnées, par la régularisation graphique de la courbe, avant de calculer les différences premières et secondes. Le tableau suivant renferme :

1° Les temps t, multiples de θ, à partir de l'origine du mouvement;

2° Les espaces u, mesurés et rectifiés (millimètres);

3° Les vitesses v (mètres);

4° Les produits $m\frac{d^2u}{dt^2}$ (kilogrammes);

5° Les résistances R correspondant, d'après le tarage, aux espaces parcourus (kilogrammes par centimètre carré).

	u.				
t.	mesurés.	rectifiés.	v.	$m\frac{d^2u}{dt^2}$.	R.
	mm	mm	m	kg	kg
1	0,29	0,29	0,91	+20,6	696
2	0,92	0,92	1,98	+ 9,3	1033
3	1,69	1,69	2,43	— 1,82	1445
4	2,44	2,43	2,33	— 4,65	1841
5	3,13	3,10	2,11	—13,36	2199
6	3,53	3,55	1,42	— 7,28	2440
7	3,95	3,88	1,04	— 4,86	2617
8	4,14	4,13	0,79	— 4,65	2750
9	4,35	4,31	0,57	— 2,43	2847
10	4,47	4,46	0,44	— 1,82	2927
11	4,59	4,57	0,35	— 1,21	2936
12	4,66	4,66	0,28	— 1,21	3034
13	4,73	4,73	0,22	— 0,61	3071
14	4,77	4,79	0,19	— 0,61	3104
15	4,84	4,84	9,16	»	3130
16	4,88	4,89	0,16	»	3156
17	4,93	4,94	0,16	»	3179
18	5,00	4,98	»	»	3216
19	5,05	5,04	»	»	3244

On voit que la force d'inertie devient rapidement négligeable.

Digitized by Google

47. On s'est assuré que ce mode d'évaluation s'applique à tous les explosifs, à l'état de grains, blocs ou fragments, qui est celui de leur emploi dans les armes de tout calibre.

La théorie suivante fait connaître les particularités, fort différentes, que présente le fonctionnement de l'appareil sous les pressions, beaucoup plus rapidement croissantes, que développe en vase clos la déflagration de certains explosifs azotés à l'état pulvérulent.

II. — Théorie des crushers.

48. Équation du mouvement du piston. — Dans l'équation (12) la force F est une fonction du temps $f(t)$; de plus, l'examen de la table de tarage montre que, dans une étendue correspondant aux conditions ordinaires des expériences, la force de tarage est exprimable par une fonction linéaire de l'écrasement. Les quantités R et u sont liées par la même relation, et l'on peut poser empiriquement

$$R = k_0 + ku, \tag{13}$$

k_0 et k désignant des constantes (1).

L'équation du mouvement du piston devient ainsi

$$m\frac{d^2u}{dt^2} + ku + k_0 = f(+). \tag{14}$$

et l'intégration de cette équation, opérée en tenant compte des conditions initiales du mouvement, permet d'analyser le fonctionnement de l'appareil (2).

49. Cas d'une force constante. — L'intégration de l'équation (14) se réduit à une quadrature, quelle que soit la forme de la fonction $f(t)$. Nous considérerons ici le cas simple où la force motrice est une constante P; l'équation est alors

$$m\frac{d^2u}{dt^2} + ku = P - k_0, \tag{15}$$

(1) On a $R = 541 + 533u$, les unités, le kilogramme et le millimètre; *Mém. poudr. salp.* : 1 383.

(2) Sarrau et Vieille, *Étude sur l'emploi des manomètres à écrasement* (*Mém. poudr. salp.* : 1 356).

Digitized by Google

et, en posant

$$u = \left(\frac{k}{m}\right)^{\frac{1}{2}}, \tag{16}$$

son intégrale générale est

$$a = \frac{P - k_0}{k} + A\cos at + B\sin at, \tag{17}$$

A et B étant des constantes déterminées par les conditions initiales.

50. Supposons que la force constante agisse sans vitesse initiale du piston; en prenant l'origine du mouvement pour origine du temps, on a les conditions $u = 0$, $\frac{du}{dt} = 0$ pour $t = 0$: il en résulte

$$A = -\frac{P - k_0}{k}, \qquad B = 0,$$

et, par suite,

$$u = \frac{P - k_0}{k}(1 - \cos at). \tag{18}$$

Cette valeur atteint son maximum lorsque $\cos at = -1$; on a alors $at = \pi$ et $t = \frac{\pi}{a}$.

La durée de l'écrasement par une force constante agissant sans vitesse initiale du piston joue un rôle important; en la désignant par τ_0 et en ayant égard à (16), sa valeur est

$$\tau_0 = \pi\left(\frac{m}{k}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{19}$$

Cette durée est indépendante de l'intensité de la force; elle est proportionnelle à la racine carrée de la masse du piston.

En remplaçant $\cos at$ par -1, la formule (18) donne pour la valeur totale de l'écrasement

$$\varepsilon = 2\frac{P - k_0}{k}. \tag{20}$$

Cet écrasement est double de celui que produirait une force atteignant, lentement et progressivement, la même valeur P. En effet, en désignant par ε' l'écrasement produit dans ce cas, qui est réalisé

Digitized by Google

dans les conditions du tarage, on a $P = k_0 + k\varepsilon'$, et, par suite, $\varepsilon' = \frac{P - k_0}{k}$. Ce résultat, fort important, a été vérifié par expérience (1).

On peut l'énoncer autrement, en remarquant que l'on a, d'après (20),

$$P = k_0 + k\frac{\varepsilon}{2}. \tag{21}$$

Or, d'après la relation empirique admise, $k_0 + k\frac{\varepsilon}{2}$ représente la force de tarage correspondant à l'écrasement $\frac{\varepsilon}{2}$; donc *la valeur de la force constante qui produit, sans vitesse initiale du piston, un écrasement déterminé est égale à la force de tarage correspondant à la moitié de cet écrasement* (2).

51. Le cas précédent se réalise à très peu près, avec des explosifs à décomposition très rapide, tels que pyroxyles ou picrates pulvérulents, qui déflagrent en vase clos avec une rapidité telle que la pression atteint sa valeur maximum avant que le piston se soit sensiblement déplacé. La pression est alors mesurée par la force de tarage correspondant, non à l'écrasement final observé, mais à la moitié de cet écrasement.

52. Vérification expérimentale. — Le manomètre enregistreur permet de vérifier que tel est en effet, dans ce cas, le mode de fonctionnement du piston (3).

Voici les résultats des lectures effectuées sur un tracé qui correspond à la déflagration, dans une éprouvette close, d'une quantité de coton-poudre de guerre pulvérulent telle que la densité

---

(1) *Mém. poudr. salp.* : 1 395.

(2) La relation (21) s'établit directement par le théorème de la force vive; en effet, appliquant ce théorème au mouvement du piston depuis son départ jusqu'à son arrêt, on voit que le travail total des forces est égal à zéro; on a donc

$$\int_0^{\varepsilon} (P - R)\, du = 0,$$

et cette équation donne bien la relation dont il s'agit en remplaçant R par la valeur admise $R = k_0 + ku$.

(3) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. CIV, p. 1759; 1887.

Digitized by Google

de chargement était égale à 0,2. La section du piston était de 1^{cmq}; son poids était de $3^{kg},601$.

La valeur considérable du poids du piston, augmentant la durée de l'écrasement, facilite la lecture du tracé; mais elle n'est pas essentielle au mode de fonctionnement. On a obtenu, dans d'autres expériences, des écrasements identiques avec le coton-poudre, en se servant d'un piston dont le poids n'était que de 60^{gr}.

On a mesuré sur le tracé les ordonnées correspondant à des abscisses croissant par intervalles égaux à 2^{mm}, la longueur de 2^{mm} représentant, d'après la vitesse du cylindre tournant, une durée $\theta = 0^{s},0003242$. Les valeurs des ordonnées qui figurent dans le tableau suivant résultent directement des lectures, sans aucune rectification; les lettres inscrites en tête des colonnes ont la même signification que dans le tableau similaire du n° 46.

t.	u (mesurés).	v.	$m\frac{d^2u}{dt^2}$.	R.	P.
	mm	m	kg	kg	kg
1	0,31	0,96	+ 1607	480	2087
2	1,08	2,37	+ 1013	1099	2112
3	2,14	3,27	+ 384	1775	2159
4	3,31	3,61	— 454	2357	1903
5	4,35	3,20	— 1083	2844	1761
6	5,08	2,25	— 1537	3219	1682
7	5,37	0,89	»	»	»

La 6e colonne renferme les valeurs de P obtenues en faisant la somme algébrique des valeurs de R et de $m\frac{d^2u}{dt^2}$.

On voit que, dès les premiers instants, la pression atteint sa valeur maximum, qui se maintient ensuite sensiblement constante; elle paraît toutefois diminuer, dans les derniers instants, par l'effet, sans doute, du refroidissement; mais il n'est pas moins établi que l'hypothèse admise est conforme à l'allure générale du phénomène.

On trouve, de plus, que la forme de la courbe tracée sur le cylindre est bien celle qui correspond à l'équation (18) et que la durée de l'écrasement se confond sensiblement avec celle que donne la formule (19).

On remarque enfin que c'est bien lorsque l'écrasement est égal

Digitized by Google

à la moitié de l'écrasement total que l'accélération passe par zéro, conformément à la théorie.

53. Cas limites. — En rapprochant ce résultat de celui qui a été énoncé au n° 45, on est conduit à considérer deux cas limites dans lesquels la pression maximum se déduit d'une façon particulièrement simple de l'écrasement mesuré.

Dans le premier cas, réalisé par la combustion des poudres usuelles, la pression est mesurée par la force de tarage correspondant à l'écrasement final.

Dans le second cas, qui est celui de la décomposition des explosifs azotés pulvérulents, la pression est mesurée par la force de tarage correspondant à la moitié de l'écrasement final.

54. Cas intermédiaires, — Pour étudier les cas intermédiaires et préciser les conditions dans lesquelles le crusher peut être considéré comme fonctionnant aux limites, il est nécessaire de poursuivre l'analyse du mouvement du piston. Voici de brèves indications à cet égard :

Reprenons l'équation (16) et considérons le cas général de la décomposition d'un explosif dans une capacité invariable.

La pression est nulle à l'origine; elle croît avec le temps et atteint sa plus grande valeur au moment où la combustion est complète; elle reste ensuite constante.

L'écrasement du cylindre commence à l'instant où la pression devient égale à k_0; prenons cet instant, qui est l'origine du mouvement, pour origine du temps et désignons par τ l'intervalle de temps après lequel la pression atteint son maximum.

La fonction $f(t)$, qui représente la force variable appliquée au piston, se réduit à k_0 pour $t = 0$ et à P pour $t = \tau$. On peut donc poser

$$f(t) = k_0 + (\mathrm{P} - k_0)\,\varphi\left(\frac{t}{\tau}\right),$$

la fonction $\varphi\left(\frac{t}{\tau}\right)$ étant telle que $\varphi(0) = 0$ et $\varphi(1) = 1$.

Pour les valeurs de t supérieures à τ, on a constamment

$$f(t) = \mathrm{P}.$$

Digitized by Google

L'équation du mouvement devient ainsi

$$m\frac{d^2u}{dt^2}+ku=(P-k_0)\varphi\left(\frac{t}{\tau}\right).$$

Cette équation est intégrable (¹); mais, sans effectuer l'intégration, on peut déduire de l'équation elle-même des indications qui suffisent à l'objet que nous avons en vue.

55. Introduisons deux nouvelles variables (y, x) définies par les relations

$$u=\frac{P-k_0}{k}y, \qquad \frac{t}{\tau}=x;$$

en posant, comme précédemment, $\frac{k}{m}=a^2$, l'équation devient

$$\frac{1}{a^2\tau^2}\frac{d^2y}{dx^2}+y=\varphi(x).$$

Il en résulte que y est une fonction numérique de la variable x et du paramètre $a\tau$; on peut donc écrire

$$u=\frac{P-k_0}{k}f\left(\frac{t}{\tau}, a\tau\right), \tag{22}$$

et l'on a, par suite, pour la vitesse

$$\frac{du}{dt}=\frac{P-k_0}{k\tau}f'\left(\frac{t}{\tau}, a\tau\right),$$

la dérivée de la fonction f étant prise par rapport à $\frac{t}{\tau}$. Lorsque le piston s'arrête, l'expression précédente s'annule; on a donc, à cet instant, l'équation $f'\left(\frac{t}{\tau}, a\tau\right)=0$. En tirant de cette équation la valeur de $\frac{t}{\tau}$ et portant cette valeur dans l'expression de u, on a, pour l'écrasement final, une valeur que l'on peut mettre sous la forme

$$\varepsilon=\frac{P-k_0}{k}(1+\rho),$$

ρ désignant une fonction de $a\tau$.

(¹) *Mém. poudr. salp.* : 1 425.

Digitized by Google

On en déduit

$$P = k_0 + k\frac{\varepsilon}{1+\rho}. \tag{23}$$

Les deux cas limites du n° 51 se rapportent, le premier à une valeur infinie, le second à une valeur nulle de la variable $a\tau$; les valeurs correspondantes de ρ sont respectivement o et 1.

Il résulte des expériences que la fonction ρ, égale à l'unité quand la variable est nulle, tend rapidement vers zéro quand la variable augmente.

56. VARIABLE CARACTÉRISTIQUE DE L'ÉCRASEMENT. — Nous avons désigné précédemment par τ_0 la durée de l'écrasement du cylindre sous l'action d'une force constante agissant, sans vitesse initiale, sur un piston de masse égale à m et nous avons trouvé la valeur de cette durée égale à $\frac{\pi}{a}$ (n° 50). On en conclut $a = \frac{\pi}{\tau_0}$, de sorte que la variable $a\tau$ est égale à $\pi\frac{\tau}{\tau_0}$.

On peut donc considérer la valeur de ρ comme une fonction numérique de $\frac{\tau}{\tau_0}$ et ce rapport de deux grandeurs de même nature constitue la variable caractéristique du phénomène.

La durée τ représente le temps pendant lequel l'intensité de la pression passe d'une valeur fixe k_0 à sa valeur maximum P; elle caractérise la rapidité du développement de cette pression.

La durée τ_0 est, par suite de la relation (19), proportionnelle à la racine carrée de la masse du piston.

Par suite, c'est dans la valeur numérique de la variable $\frac{\tau}{\tau_0}$ que se résume l'influence que la masse du piston et le mode de décomposition de l'explosif exercent sur la valeur de l'écrasement.

Si la rapidité du développement de la pression, ainsi que la grandeur de la masse du piston se modifient de manière que le rapport $\frac{\tau}{\tau_0}$ conserve une valeur fixe, l'écrasement reste constant.

Si, par une plus grande vivacité de l'explosif ou par un accroissement de la masse du piston, la variable $\frac{\tau}{\tau_0}$ tend vers zéro, la fonction ρ tend vers l'unité.

Si, par le ralentissement du développement de la pression ou

Digitized by Google

par une diminution de la masse du piston, la variable $\frac{\tau}{\tau_0}$ augmente, la fonction ρ tend vers zéro.

Il n'est pas nécessaire que la valeur de $\frac{\tau}{\tau_0}$ soit très grande pour que ρ soit négligeable; il suffit qu'elle atteigne 2 ou 3 et comme, pour le piston ordinaire de 60^{gr}, la valeur de τ_0, calculée par la formule (19), est égale à 3,4 dix-millièmes de seconde, il suffit que la valeur de τ atteigne 6,8 ou 10,2 dix-millièmes de seconde, pour que le crusher fonctionne statiquement et pour que la force de tarage, correspondant à l'écrasement mesuré, puisse servir de mesure à la pression maximum.

III. — Expériences.

57. Éprouvette manométrique. — L'appareil, qui permet de mesurer les pressions développées par les explosifs, consiste en un tube en acier taraudé à ses extrémités qui reçoivent des bouchons filetés destinés à la fermeture.

L'un de ces bouchons porte le dispositif servant à l'inflammation de la charge, qui est obtenue électriquement par l'incandescence d'un fil fin de fer ou de platine tendu entre deux bornes placées à la surface interne du bouchon.

A cet effet, ce bouchon est percé d'un canal central qui s'évase coniquement vers l'intérieur de l'éprouvette. Ce canal reçoit une tige exactement rodée dans le logement correspondant du bouchon et qui peut être isolée par l'interposition d'une feuille de baudruche ou d'une mince couche de gomme laque.

Les bornes sont fixées, l'une sur la tige, l'autre sur le bouchon. Un courant électrique peut donc circuler par la tige isolée, le fil et le corps du bouchon. Le fil rougit, enflamme la charge et, la pression refoulant avec force le cône dans son logement, toute fuite est rendue impossible.

58. Le second bouchon renferme l'appareil crusher. Des anneaux en cuivre ou en laiton, disposés à la base du piston et des bouchons, sont des obturateurs destinés à empêcher toute fuite des gaz. La question d'obturation est une des plus importantes dans les recherches sur les explosifs. La moindre fuite de gaz,

Digitized by Google

non seulement fausse l'expérience, mais encore met l'appareil hors de service. Les gaz, aux températures de 2000° et 3000°, et sous les pressions de plusieurs milliers d'atmosphères, qui sont celles des expériences, creusent en une seule fois, même dans l'acier, quand ils s'écoulent à grande vitesse, de profondes érosions. Les obturateurs sont disposés de manière à se mouler, par l'effet même de la pression, dans les interstices des bouchons et de l'éprouvette.

Quand les obturateurs fonctionnent bien, la déflagration de la charge ne produit aucun bruit; à peine perçoit-on un léger cliquetis résultant de la mise en tension des pièces métalliques sous les pressions considérables qui leur sont appliquées. Puis les gaz se refroidissent, la pression tombe au dixième environ de sa valeur et les bouchons peuvent être dévissés sans fuite dangereuse; l'écrasement du petit cylindre de cuivre reste le témoin des hautes pressions de l'explosion et permet de les évaluer ainsi qu'il a été dit plus haut.

59. Quand l'éprouvette manométrique fonctionne avec l'appareil enregistreur, le bouchon crusher reçoit une disposition spéciale : il présente une fente latérale par laquelle passe un appendice de la tête du piston et à cet appendice est fixée la plume d'acier qui trace la courbe du mouvement sur le cylindre tournant.

La *fig.* 3 ci-après fait connaître la disposition générale de l'éprouvette manométrique munie de l'appareil enregistreur.

Digitized by Google

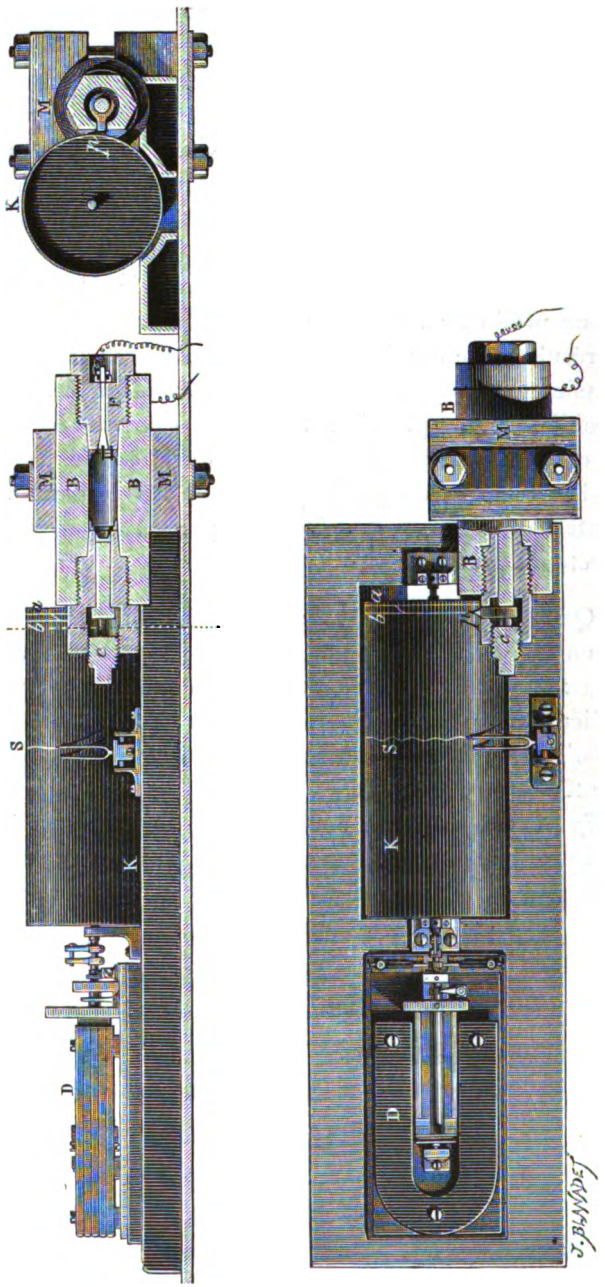


Fig. 3.

Digitized by Google

La *fig. 4* présente quelques spécimens de tracés obtenus avec des explosifs divers.

Fig. 4.

60. Résultats d'expériences. — Les premières mesures effectuées avec le crusher sont dues à MM. Noble et Abel (1). Des mesures analogues ont été faites en France, au Laboratoire central

(1) *Recherches sur les substances explosives* (*Mémorial de l'artillerie de la marine*, t. I, p. 473 et *Mém. poudr. salp.* : 1 193).

Digitized by Google

des poudres et salpêtres; ces expériences permettent d'apprécier la loi d'accroissement des pressions avec les charges en vase clos.

On a opéré notamment avec trois poudres, de fabrication française, différant par le dosage.

	Salpêtre.	Soufre.	Charbon.
Poudre de chasse...	78	10	12
» de guerre...	75	10	15
» de mine.....	62	20	18

La variable de ces expériences est ce que l'on appelle la *densité de chargement,* c'est-à-dire le rapport du poids de la charge au volume intérieur de l'éprouvette. La variable, ainsi définie, joue un rôle important, non seulement dans les expériences de laboratoire, mais encore dans la pratique courante de l'artillerie; on l'évalue toujours en prenant le litre comme unité de volume et le kilogramme comme unité de poids, de sorte que la densité de chargement se trouve rapportée à la densité de l'eau prise comme unité.

Voici, pour diverses densités de chargement, les pressions mesurées avec les trois espèces de poudre; elles sont exprimées, suivant l'usage de l'artillerie, en kilogrammes par centimètre carré, soit, à très peu près, en atmosphères.

Densités de chargement.	Poudre de		
	chasse.	guerre.	mine.
0,3	1065	1187	1055
0,4	1623	1614	1675
0,5	2094	2282	2344
0,6	2678	2916	3071
0,7	3224	3608	3896
0,8	»	4468	4994
0,9	»	5716	»
1,0	»	6696	»

Les explosifs azotés développent à poids égaux des pressions supérieures à celles des poudres noires, ainsi qu'il résulte du tableau suivant :

Digitized by Google

Densités de chargement.	Azotate d'ammoniaque.	Coton-poudre.	Acide picrique.
0,1	»	1060	927
0,2	1576	2401	1744
0,3	2319	4093	3504
0,4	3560	»	5467
0,5	»	»	7662

On voit que la pression développée par l'acide picrique à la densité 0,5 est plus grande que celle de la poudre de guerre à la densité 1. On constate de plus que, pour tous les explosifs expérimentés, la pression croît plus rapidement que la densité.

IV. — Formule des pressions.

61. On peut représenter la pression en fonction de la densité par une formule que MM. Noble et Abel ont proposée, les premiers, pour la poudre ordinaire, en admettant qu'une partie des produits de l'explosion est à l'état solide ou liquide, au moment du maximum de pression et en calculant la pression des produits gazeux, d'après la loi de Mariotte, en retranchant du volume de l'éprouvette celui des produits non gazeux.

La même formule s'étend aux explosifs qui se réduisent totalement en gaz, lorsque l'on admet, pour représenter la compressibilité d'un fluide, hors de l'état parfait, l'équation caractéristique de Van der Waals et Clausius (1).

Cette équation, entre les variables ordinaires p, v, T, est la suivante

$$p = \frac{RT}{v - \alpha} - \frac{f(T)}{(v + \beta)^2}.$$

R, α, β sont des constantes spécifiques ; $f(T)$ est une fonction qui décroît, lorsque T augmente.

La constante α porte le nom de *covolume ;* la constante R se confond avec celle qui figure dans l'équation des gaz parfaits.

Il résulte de cette équation que, si v diminue en se rapprochant de α, le premier terme de p devient prépondérant et sa prépondérance est encore plus sensible aux températures élevées, par

(1) *Introduction à la théorie des explosifs* (*Mém. poudr. salp.* : 5 125).

Digitized by Google

suite de la décroissance de $f(T)$. Ces circonstances se présentent dans les effets des explosifs, car les produits de leur décomposition sont très condensés et leur température est très considérable. La loi des pressions est sensiblement représentée, dans ce cas, par la formule

$$p = \frac{RT}{v - \alpha}, \tag{24}$$

qui ne diffère de celle des gaz parfaits que par la présence du covolume α.

On voit ainsi l'importance du covolume dans l'étude des explosifs (1); on a rappelé, dans un travail antérieur, les déterminations numériques qui conduisent à admettre cette règle approximative, qui sera utilisée ultérieurement : *le covolume d'un gaz est le millième de son volume spécifique* (2).

62. Formule principale. — Soient

ϖ le poids de l'explosif,
s le volume de la capacité où se produit l'explosion,
ε le poids des gaz produits par l'unité de poids de l'explosif,
α' le volume, à la température et sous la pression de l'explosion, du résidu non gazeux produit par l'unité de poids de l'explosif.

Le poids des gaz produits par le poids ϖ de l'explosif est $\varepsilon\varpi$ et ces gaz occupent, dans l'éprouvette, un volume égal à $s - \alpha'\varpi$, de sorte que le volume de l'unité de poids de ces gaz est $v = \frac{s - \alpha'\varpi}{\varepsilon\varpi}$.

La pression est donnée par la formule (24) du numéro précédent et, en remplaçant R par sa valeur ordinaire $\frac{p_0 v_0}{273}$, il vient

$$p = \frac{1}{273}\frac{p_0 v_0 T}{v - \alpha},$$

(1) La notion du covolume et son application à la théorie des substances explosives ont été introduites, vers 1878, dans les leçons professées à l'École d'application des poudres et salpêtres; c'est en vue de cette application que l'auteur a cherché à déduire des expériences de M. Amagat sur la compressibilité des gaz les valeurs approximatives du covolume pour les gaz étudiés, au nombre de six (*Comptes rendus de l'Académie des sciences*, t. XCIV, p. 639, 718 et 845; 1882).

(2) *Introduction...*, *loc. cit.*, p. 138.

Digitized by Google

T étant la température absolue de l'explosion, v_0 le volume spécifique du mélange des gaz et α le covolume de ce mélange.

D'ailleurs, si l'on désigne par w_0 le volume (réduit à 0° et à 760^{mm}) des gaz produits par l'unité de poids de l'explosif, on a $v_0 = \frac{w_0}{\varepsilon}$.

En remplaçant v et v_0 par leurs valeurs, la formule de la pression devient

$$p = \frac{1}{273}\,\frac{p_0 w_0 \mathrm{T}\varpi}{s - (\alpha' + \alpha\varepsilon)\varpi}.$$

En posant enfin

$$f = \frac{p_0 w_0 \mathrm{T}}{273}, \qquad \alpha_1 = \alpha' + \alpha\varepsilon, \qquad \Delta = \frac{\varpi}{s},$$

cette valeur peut s'écrire

$$p = \frac{f\Delta}{1 - \alpha_1\Delta}.$$

Dans cette formule, Δ est la densité de chargement; la quantité α_1 dépend à la fois du volume α' des résidus non gazeux et du covolume α des produits gazeux. En admettant la règle rappelée à la fin du numéro précédent, ce dernier élément est le millième du volume spécifique v_0; on a par suite

$$\alpha_1 = \alpha' + \frac{\varepsilon v_0}{1000} = \alpha' + \frac{w_0}{1000}.$$

Pour ne pas multiplier les notations, nous écrirons désormais v_0, α au lieu de w_0, α_1. La formule s'écrit ainsi

$$p = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}, \tag{25}$$

et l'on a, dans cette formule,

$$f = \frac{p_0 v_0 \mathrm{T}}{273}, \qquad \alpha = \alpha' + \frac{v_0}{1000}. \tag{26}$$

v_0 désigne le volume (réduit à 0° et 760^{mm}) des gaz produits par un kilogramme de l'explosif; on peut lui donner le nom de *volume spécifique* de l'explosif; α sera son *covolume*. Ces dénominations se confondent avec les dénominations ordinaires de la théorie des gaz, quand les produits sont totalement gazeux.

Digitized by Google

Le coefficient f est ce que nous appellerons la *force* de l'explosif.

63. L'étude du mode de décomposition des explosifs montre d'ailleurs que, dans des limites étendues de condensation gazeuse, les produits de la décomposition ne présentent que des variations très faibles et d'une nature telle que la température de l'explosion peut être considérée comme constante. Dans cette hypothèse, f est une constante et l'on vérifie, en effet, qu'il existe, pour chaque explosif, un système de valeurs (f, α), telles que la formule, pour une variation étendue de Δ, représente les pressions avec une exactitude suffisante dans la pratique.

Les coefficients (f, α) sont caractéristiques de l'explosif; il faut, pour les déterminer, connaître, par expérience, les valeurs de p correspondant à deux valeurs particulières de Δ. On peut aussi, quand on a plus de deux expériences, les faire concourir à cette détermination; en écrivant l'équation sous la forme

$$\frac{p}{\Delta} = f + \alpha p,$$

on voit qu'elle représente une droite quand on prend p comme abscisse et $\frac{p}{\Delta}$ comme ordonnée. Les quantités f et α sont l'ordonnée à l'origine et le coefficient angulaire de cette droite; on peut les évaluer graphiquement en traçant la droite de manière qu'elle se rapproche le plus possible des points fournis par les données expérimentales.

64. Considérons deux explosifs caractérisés par les constantes (f, α) et (f', α'); supposons que l'on ait $f' > f$ et $\alpha' < \alpha$. Les deux droites correspondantes se coupent en un point dont l'abscisse est positive; il existe donc une densité de chargement Δ_0, pour laquelle les deux explosifs donnent la même pression. Pour une densité $\Delta < \Delta_0$, l'explosif dont la force est la plus grande donne la plus grande pression; le contraire se produit pour une densité $\Delta > \Delta_0$. Aux faibles densités, c'est la *force* qui est prépondérante; aux fortes densités, c'est le *covolume* qui domine.

65. Température de l'explosion. — En supposant connu le

Digitized by Google

volume spécifique v_0, la valeur trouvée pour f permet de calculer T d'après la première relation (26), d'où l'on tire

$$T = 273 \frac{f}{p_0 v_0}.$$

Dans ce calcul, v_0 doit être exprimé avec les unités (litre, kilogramme), ces unités ayant été adoptées pour les densités Δ; la valeur de f se rapportant à la pression évaluée en kilogrammes par centimètre carré, la pression normale p_0 doit être évaluée de la même manière, et sa valeur est ainsi $p_0 = 1,0333$.

Le tableau suivant fait connaître, pour les explosifs considérés précédemment (n° 60), les valeurs de f, α, celles de v_0 et les températures centigrades $t = T - 273$.

Pour les trois poudres noires, les valeurs de v_0 ont été déterminées directement en mesurant, après refroidissement, le volume des gaz permanents produits par la déflagration d'un poids connu de poudre, dans une éprouvette close (1).

Quant aux explosifs azotés, leur décomposition produit une certaine quantité d'eau que l'on recueille à l'état liquide; on doit ajouter le volume correspondant à cette eau supposée gazeuse au volume des gaz permanents recueillis après refroidissement, cette eau se trouvant effectivement gazéifiée à la température de l'explosion.

	f.	α.	v_0.	t.
			lit	°
Poudre de chasse	3370	0,4	234	3530
Poudre de guerre	3370	0,5	280	2910
Poudre de mine	3260	0,6	307	2530
Azotate d'ammoniaque	5660	0,9	976	1260
Coton-poudre	9565	1,0	860	2665
Acide picrique	8570	0,9	877	2310

On voit que les trois poudres, malgré les différences du dosage (n° 60) ont, à très peu près, la même force; elles ne diffèrent que par le covolume.

Les trois explosifs azotés sont caractérisés par des valeurs de (f, α) notablement supérieures à celles des poudres noires.

(1) *Comptes rendus de l'Académie des sciences*, séance du 18 août 1873.

Digitized by Google

On remarquera enfin les différences considérables qui existent entre les températures de ces diverses réactions explosives.

66. On voit, par l'exposé précédent, que l'étude complète des explosifs peut se faire par une voie purement expérimentale. La même question peut être abordée par la théorie; en effet, suivant la méthode inaugurée par M. Berthelot, on peut calculer théoriquement la pression développée par un explosif dans une capacité invariable, quand on connaît :

1° La composition et la chaleur de formation de l'explosif;

2° La composition et la chaleur de formation des produits de l'explosion. Les chapitres suivants sont destinés à faire connaître les données et la marche de ce calcul.

CHAPITRE V.

COMPOSITION DES EXPLOSIFS.

I. — Poudres ordinaires.

67. Poudres a base de salpêtre. — Les poudres noires usuelles sont constituées par un mélange de trois composants (salpêtre, soufre, charbon) dont les proportions peuvent varier entre des limites assez étendues.

Le dosage des anciennes poudres de guerre françaises était (75 — 12,5 — 12,5); depuis 1870, il est (75 — 10 — 15), conforme à celui qui a été adopté par la plupart des nations étrangères.

Le salpêtre et le soufre provenant des raffineries de l'État peuvent être considérés comme chimiquement purs. Il n'en est pas de même du charbon qui s'obtient par la distillation de certaines essences de bois, particulièrement le bois de bourdaine, et présente une constitution très variable avec la température de carbonisation, comme l'indique le tableau suivant qui fait connaître, pour quelques températures de carbonisation, les sub-

Digitized by Google

stances élémentaires trouvées dans 100 parties de charbon de bourdaine (1).

Numéros.	Température.	Carbone.	Hydrogène.	Oxygène et azote.	Cendres.
1.....	150°	47,51	6,12	46,29	0,08
2.....	190	50,61	5,11	44,06	0,22
3.....	230	57,15	5,50	37,05	0,30
4.....	270	70,45	4,65	24,10	0,80
5.....	350	76,65	4,20	18,55	0,60

Les numéros (1, 2, 3) correspondent à des charbons imparfaits, soit encore bois, soit incuits ou *brûlots*. Le numéro 4 est le charbon *roux* de la poudre de chasse, le numéro 5 le charbon *noir* de la poudre de guerre.

On attribuait, autrefois, une grande importance au dosage et à la qualité du charbon; on sait aujourd'hui que l'influence de ces variables, sur les effets balistiques, n'est que secondaire dans les conditions actuelles de l'emploi. Mais le dosage peut faire varier, dans des limites étendues, la température des réactions explosives, comme le prouvent les résultats précédemment signalés (n° 65), et il importe d'en tenir compte au point de vue des effets destructeurs produits par la poudre sur les armes.

68. Poudres diverses. — On peut substituer, dans certains cas, au salpêtre d'autres substances oxydantes, soit pour obtenir des produits moins coûteux ou d'une combustion plus lente (poudres aux nitrates de soude ou de baryte), soit pour augmenter la puissance des effets obtenus (poudres aux chlorates de potasse ou de soude). Toutes ces substances sont peu appropriées au tir dans les armes, soit parce qu'elles sont hygrométriques (poudres au nitrate de soude) ou donnent trop de résidus (poudres au nitrate de baryte), soit parce qu'elles sont brisantes et attaquent chimiquement les parois métalliques.

Les poudres aux chlorates sont d'ailleurs extrêmement dangereuses.

---

(1) *Traité sur la poudre,* par Upman et von Meyer. Édition Désortiaux, p. 159.

Digitized by Google

II. — Composés dérivés de l'acide azotique.

69. Formule générale. — L'action de l'acide azotique sur les substances organiques donne naissance à de nombreux composés explosifs ou susceptibles d'entrer, comme constituants, dans des mélanges explosifs.

Au point de vue chimique, ils forment deux catégories distinctes : les uns sont de véritables *éthers,* décomposables par les alcalis avec régénération de l'acide azotique et de l'alcool; les autres, désignés spécialement sous le nom de *corps nitrés,* ne peuvent plus être dédoublés de manière à reproduire les corps générateurs.

70. La formule de la substance organique (carbure ou alcool), étant $C^aH^bO^c$, l'équation de la réaction est

$$C^aH^bO^c + n\,AzO^3H = C^aH^{b-2n}O^{c-n}(AzO^3H)^n + n\,H^2O$$

pour un éther azotique, et

$$C^aH^bO^c + n\,AzO^3H = C^aH^{b-n}O^c(AzO^2)^n + n\,H^2O$$

pour un corps nitré.

La formule du corps dérivé peut aussi s'écrire $C^aH^{b-n}O^{c+2n}Az^n$.

71. Éthers azotiques. — Les principaux dérivés de cette catégorie sont la nitroglycérine, la nitromannite et le coton-poudre, résultant de l'action de l'acide azotique sur la glycérine ($C^3H^8O^3$), la mannite ($C^6H^{14}O^6$), la cellulose ($C^{24}H^{40}O^{20}$), avec des valeurs de n respectivement égales à 3, 6, 11, de sorte que les formules des composés sont

Nitroglycérine.....	$C^3H^5O^9Az^3$
Nitromannite.....	$C^6H^8O^{18}Az^6$
Coton-poudre.....	$C^{24}H^{29}O^{42}Az^{11}$

72. L'action de l'acide azotique sur la cellulose donne une série de composés (celluloses nitriques) dont la composition est représentée par

$$C^{24}H^{40-n}O^{20+2n}Az^n.$$

On caractérise ordinairement une cellulose nitrique par le vo-

Digitized by Google

lume (en centimètres cubes) du bioxyde d'azote dégagé par gramme dans la détermination du taux d'azote par le procédé Schlœsing (1).

On a la correspondance suivante entre ce volume et le nombre n de la formule.

	n.	Volume de bioxyde d'azote. cc	
Cellulose endécanitrique.....	11	214	coton-poudre.
» décanitrique...	10	203	
» ennéanitrique.....	9	190	collodions.
» octonitrique.....	8	178	
» heptanitrique.....	7	162	cotons friables.
» hexanitrique.....	6	146	
» pentanitrique.....	5	128	
» tétranitrique.....	4	108	

Les produits correspondant à $n = (11, 10)$ sont complètement solubles dans l'éther acétique, insolubles dans un mélange d'alcool et d'éther sulfurique. Pour $n = (9, 8)$ on a des corps solubles dans l'éther acétique, ainsi que dans le mélange d'alcool et d'éther. Pour des valeurs inférieures de n, le produit cesse d'être soluble dans l'éther acétique et dans le mélange d'alcool et d'éther (2).

73. Corps nitrés. — Cet ordre de composés se produit spécialement dans la série aromatique.

Les premiers termes de cette série sont les hydrocarbures

Benzine.....	C^6H^6
Toluène.....	C^7H^8
Xylène.....	C^8H^{10}

avec les alcools correspondants

Phénol.....	C^6H^6O
Crésol.....	C^7H^8O
Xylol.....	$C^8H^{10}O$

(1) *Sur le procédé Schlœsing*, voir *Mém. poudr. salp.* : 2 225.

(2) Vieille, *Recherches sur la nitrification du coton* (*Mém. poudr. salp.* : 2 212).

Digitized by Google

De chacun de ces corps résultent, par l'action de l'acide azotique, des dérivés suivant la formule $C^aH^{b-n}O^{c+2n}Az^n$, avec les valeurs 1, 2, 3, 4 de n.

Parmi ces composés, on doit particulièrement citer le trinitrophénol (acide picrique) dont la formule est

Acide picrique..... $C^6H^3(AzO^2)^3O$

et les sels de cet acide

Picrate de potasse..... $C^6H^2K(AzO^2)^3O$,
Picrate d'ammoniaque..... $C^6H^3(AzH^4)(AzO^2)^3O$.

On doit enfin signaler, comme susceptibles d'applications, les composés nitrés de la naphtaline $C^{10}H^8$, représentés par la formule

Nitronaphtalines..... $C^{10}H^{8-n}(AzO^2)^n$.

74. Chaleurs de formation des dérivés azotiques. — Les règles suivantes, établies par M. Berthelot, permettent de calculer approximativement la chaleur de formation Q_1 d'un dérivé azotique ($C^aH^{b-n}O^{c+2n}Az^n$) quand on connaît la chaleur de formation Q de la substance organique correspondante (1).

On a, en effet, la relation approximative

$$Q_1 = Q - 22{,}4n$$

pour un *éther azotique* et

$$Q_1 = Q + 9n$$

pour un *corps nitré*.

La chaleur de formation du dérivé est donc inférieure ou supérieure à celle du corps générateur, suivant que ce dérivé est un éther azotique ou un corps nitré.

III. — Composés diazoïques.

75. Cet ordre de composés, qui paraît appelé à jouer quelque rôle dans les applications des explosifs, s'obtient en associant, pour les faire agir sur un corps organique, un composé oxygéné

(1) *Force des matières explosives*, t. II, p. 26.

Digitized by Google

de l'azote (acides azotique, azoteux, etc.) et un composé hydrogéné de l'azote (alcali ou amide).

Tel est le diazobenzol, dérivé du phénol, de l'acide azoteux et de l'ammoniaque, suivant l'équation

$$C^6H^6O + AzO^2H + AzH^3 = C^6H^4Az^2 + 3H^2O.$$

L'azotate de diazobenzol $C^6H^4Az^2$, AzO^3H étudié par MM. Berthelot et Vieille, est un corps cristallisé, plus maniable que le diazobenzol (¹).

76. Fulminate de mercure. — Cette substance, qui joue un rôle capital dans les applications, s'obtient en traitant l'alcool par l'azotate de mercure; sa formule est $C^2HgO^2Az^2$.

IV. — Explosifs à base d'azotate d'ammoniaque.

77. L'azotate d'ammoniaque AzO^3H, AzH^3 est un corps explosif; on l'emploie mélangé avec la dynamite, avec le coton-poudre, avec la binitrobenzine (bellite), avec les nitronaphtalines (explosif Favier) pour former, notamment, des mélanges explosifs pouvant être employés en présence du grisou, en raison de l'abaissement relatif de la température d'explosion.

V. — Explosifs divers.

78. D'innombrables inventeurs ont proposé, sans les appuyer de justifications rationnelles, des mélanges explosifs complexes, qui n'offrent, pour la plupart, aucun intérêt.

On doit cependant citer comme intéressants :

1° Les *explosifs de Sprengel,* obtenus en mélangeant l'acide azotique monohydraté avec des substances combustibles. Ces mélanges, qui peuvent se faire au moment de l'emploi, détonent par une forte amorce au fulminate de mercure; ils ne sont pas très nombreux, puisqu'il faut en exclure toutes les matières organiques attaquables par l'acide azotique. On peut employer, entre autres, les dérivés nitrés de la série aromatique, l'acide picrique

(¹) *Mém. poudr. salp.* : 1 99.

Digitized by Google

et les nitrobenzines. On a proposé par exemple, sous le nom d'*helloffite,* un mélange d'acide azotique et de binitrobenzine.

2° Les *panclastites,* de M. Turpin, obtenues par le mélange de l'acide hypoazotique (peroxyde d'azote) liquide avec divers corps combustibles liquides tels que le sulfure de carbone, la nitrobenzine, les essences de pétrole, le nitrotoluène. Les explosifs de cette catégorie détonent, comme les précédents, avec une amorce au fulminate de mercure.

CHAPITRE VI.

LES PRODUITS DES RÉACTIONS EXPLOSIVES.

79. L'étude du mode de décomposition des explosifs n'a pas seulement un intérêt théorique; elle permet aussi, ce qui est fort important dans la pratique, de signaler ceux des produits de l'explosion qui sont délétères, ou vénéneux, ou susceptibles de produire des mélanges détonants dans les galeries de mine.

On possède aujourd'hui un grand nombre de résultats d'expériences faisant connaître la composition des produits des explosions en vase clos; mais les analyses chimiques qui donnent ces résultats ne peuvent être effectuées qu'après refroidissement, c'est-à-dire à un moment où des transformations ultérieures peuvent avoir plus ou moins profondément modifié l'état physique ou chimique des produits qui existaient au moment même de l'explosion. Ces expériences donnent toutefois, à cet égard, des indications approximatives qui suffisent en général à l'étude théorique du phénomène.

I. — Propriétés générales.

80. Dans cette étude, il importe d'abord de distinguer deux modes de décomposition de la substance.

Dans le premier, auquel se rapporte plus particulièrement la dénomination d'*explosion,* on enflamme la substance au contact

Digitized by Google

d'un corps en ignition ou d'un métal incandescent, suivant le dispositif précédemment décrit (n° 55).

Dans le second, que nous étudierons plus loin sous le nom de *détonation,* on provoque la décomposition de l'explosif à l'aide d'un dispositif spécial, dit *détonateur,* dont le type est une *amorce* ou petit tube de cuivre, fermé à un bout, et renfermant de 1^{gr} à 2^{gr} de fulminate de mercure.

Les expériences dont nous allons faire connaître les résultats se rapportent toutes au premier de ces deux modes, c'est-à-dire à l'explosion simple.

81. Diversité des réactions. — La décomposition d'un explosif n'a pas lieu suivant une seule réaction caractéristique.

L'azotate d'ammoniaque, par exemple, peut se décomposer suivant huit modes différents, suivant la vitesse de l'échauffement et la température à laquelle le corps est porté (1).

82. Influence de la pression. — Une cause importante de variation dans la nature des réactions résulte des conditions de volume ou de rapprochement moléculaire dans lequel les produits se trouvent maintenus pendant la durée de la réaction.

Si l'on enflamme un explosif dans des conditions telles que les produits puissent occuper immédiatement un grand volume, sous une faible pression, on observe en général des réactions très différentes de celles qui se produisent lorsque la matière se décompose dans une capacité de volume réduit, sous des pressions comparables à celles qui se développent dans la pratique.

Voici les principales données que l'on possède à ce sujet.

II. — Décomposition sous de fortes pressions.

83. Explosifs à oxydation complète. — Lorsqu'un explosif renferme assez d'oxygène pour brûler complètement les éléments combustibles qu'il renferme, cette combustion se réalise effectivement et la composition des produits est ainsi déterminée.

Tels sont la nitroglycérine, la nitromannite et l'azotate d'ammoniaque dont l'oxygène transforme tout le carbone en acide

(1) *Sur la force des matières explosives,* t. II, p. 183.

Digitized by Google

carbonique et tout l'hydrogène en eau, et qui se décomposent suivant les équations :

(1) Nitroglycérine :
$$2\,C^3H^5O^9Az^3 = 6\,CO^2 + 5\,H^2O + 3\,Az^2 + \tfrac{1}{2}\,O^2,$$

(2) Nitromannite :
$$C^6H^8O^{18}Az^6 = 6\,CO^2 + 4\,H^2O + 3\,Az^2 + O^2,$$

(3) Azotate d'ammoniaque :
$$H^4O^3Az^2 = 2\,H^2O + Az^2 + \tfrac{1}{2}\,O^2.$$

A cette catégorie appartiennent les explosifs formés des mélanges de comburants et de combustibles dans les proportions d'une combustion complète. Exemples :

(4) Coton-poudre et azotate d'ammoniaque :
$$C^{24}H^{29}O^{42}Az^{11} + 20{,}5\,H^4O^3Az^2 = 24\,CO^2 + 55{,}5\,H^2O + 26\,Az^2,$$

(5) Salpêtre-soufre-charbon, dans les proportions (8 — 8 — 8) :
$$10\,AzO^3K + 3\,S + 8\,C = 2\,CO^3K^2 + 3\,SO^4K^2 + 6\,CO^2 + 5\,Az^2.$$

84. Explosifs a oxydation complète. — Dans la décomposition des explosifs à oxydation incomplète (poudres ordinaires, celluloses azotiques, acide picrique, picrates, etc.) une partie des éléments combustibles reste à l'état libre ou partiellement oxydée, et l'équilibre qui s'établit entre ces divers corps dépend essentiellement des conditions de pression ou de rapprochement moléculaire réalisées dans l'expérience. Il n'est pas possible alors d'indiquer *a priori* une réaction limite correspondant aux pressions les plus élevées, et ce n'est que par l'étude expérimentale des modifications produites sous l'influence de pressions croissantes que l'on peut prévoir, par une sorte d'extrapolation, la réaction correspondant à l'emploi normal de l'explosif. Voici le résumé des résultats obtenus.

85. Poudres noires. — Les principales expériences sur ces poudres sont celles de MM. Noble et Abel. Elles montrent que la nature des produits est toujours la même, mais que les proportions de ces produits varient, soit quand on passe d'une poudre à une autre, soit quand, avec la même poudre, on fait varier la densité de chargement.

Digitized by Google

Il y a plus : pour une même poudre et une même densité de chargement, on constate des différences notables d'une expérience à une autre, dans des conditions en apparence identiques. Cependant, si l'on considère les résultats moyens, on peut admettre :

1° Qu'une légère variation dans le dosage de la poudre ou dans l'état physique du grain a une influence faible, beaucoup moins marquée que celle qui tient aux circonstances de la combustion, notamment à la pression;

2° Que les résultats deviennent plus réguliers et constants pour des densités croissantes de chargement.

Le charbon et le salpêtre sont complètement brûlés ou transformés tandis qu'une partie du soufre échappe à la réaction, même dans des poudres qui en contiennent seulement 10 pour 100.

86. En prenant les moyennes des valeurs obtenues, aux différentes densités de chargement, avec la poudre anglaise *pebble,* qui ne diffère pas sensiblement des poudres de guerre françaises, on a, en nombres ronds, la composition en poids suivante, qui peut être considérée comme répondant sensiblement aux conditions ordinaires de l'emploi :

Gaz	Acide carbonique	27	44	100
	Oxyde de carbone	5		
	Azote	11		
	Divers	1		
Résidus solides	Carbonate de potasse	33	56	
	Sulfate de potasse	7		
	Sulfure de potassium	10		
	Soufre	4		
	Divers	2		

Le volume (réduit à 0° et 760^{mm}) des gaz résultant de la combustion de 1^{kg} de poudre (volume spécifique) varie, entre des limites peu éloignées, pour les différentes densités de chargement. Sa valeur moyenne est 240^{lit}.

87. Explosifs azotés. — Les principales expériences ont porté

Digitized by Google

sur les celluloses azotiques, l'acide picrique et le picrate de potasse; en voici les résultats généraux (¹) :

Les produits de la décomposition sont : CO^2, H^2O, CO, H, Az, CH^4, auxquels s'adjoignent, pour le picrate de potasse, le carbonate de potasse et le cyanure de potassium.

Lorsque la densité de chargement augmente, les proportions d'acide carbonique et d'hydrogène augmentent, tandis que celles d'oxyde de carbone et d'eau diminuent.

Le formène CH^4 n'apparaît qu'à une densité de chargement assez élevée (0,2 environ); à partir de cette limite, le taux de ce gaz, toujours très faible pour le coton-poudre, croît sensiblement avec la pression pour l'acide picrique, les picrates et les celluloses de nitrification inférieure.

On peut toutefois négliger le formène et admettre les formules approximatives suivantes pour représenter la décomposition de quelques substances dans les conditions ordinaires des explosions :

(6) Cellulose endécanitrique (coton-poudre) :

$$C^{24}H^{29}O^{62}Az^{11} = 12CO^2 + 6H^2O + 12CO + 8{,}5H^2 + 5{,}5Az^2,$$

(7) Cellulose octonitrique (collodion) :

$$C^{24}H^{32}O^{36}Az^8 = 6CO^2 + 6H^2O + 18CO + 10H^2 + 4Az^2,$$

(8) Acide picrique :

$$2C^6H^3O^7Az^3 = CO^2 + H^2O + 11CO + 2H^2 + 3Az^2.$$

Il importe de remarquer que la décomposition de cette catégorie d'explosifs dégage toujours de l'oxyde de carbone, gaz très délétère. Aussi ne peut-on les employer dans les travaux de mine qu'en les mélangeant à une substance oxydante, un azotate par exemple, dans les proportions de l'oxydation complète; on a donné précédemment un exemple de ces mélanges (n° 83).

88. Composés diazoïques. — La décomposition de l'azotate de diazobenzol donne quelques réactions secondaires (acide cyanhydrique, ammoniaque, formène). En négligeant ces perturbations,

(¹) Sarrau et Vieille, *Étude sur la décomposition de quelques explosifs* (*Mém. poudr. salp.* : 2 126 et 337).

Digitized by Google

la réaction principale se réduit à la suivante (¹) :

(9) { Azotate de diazobenzol :
$C^6H^5O^2Az^2 = 3CO + \frac{5}{2}H^2 + \frac{3}{2}Az^2 + 3C.$

La décomposition du fulminate de mercure est représentée par l'équation (²) :

(10) { Fulminate de mercure :
$C^2HgO^2Az^2 = 2CO + Az^2 + Hg.$

III. — Décomposition sous de faibles pressions.

89. Poudres noires. — Les expériences de MM. Bunsen et Schischkoff (1857) ont eu pour objet l'analyse des produits de la combustion d'une poudre, voisine de la poudre de chasse française, sous la pression atmosphérique. Le mode de décomposition observé ne présente aucune particularité qui le distingue essentiellement de celui qui se produit, en vases clos, sous des pressions élevées. Les produits principaux sont toujours l'acide carbonique, l'azote, le carbonate et le sulfate de potasse. Les proportions des produits gazeux et solides sont 32 et 68 pour 100; le volume spécifique est 193^{lit} (³).

90. Explosifs azotés. — Les expériences faites en observant les produits de la décomposition des explosifs azotés, par inflammation simple à l'air libre, établissent qu'ils éprouvent un mode de décomposition spécial consistant en une combustion lente, assimilable à une sorte de distillation et caractérisée par une production abondante de bioxyde d'azote (⁴).

Voici un tableau faisant connaître la composition des gaz que produisent, sous la pression atmosphérique, la nitroglycérine, le coton-poudre et deux mélanges de coton-poudre avec des oxydants dans des proportions répondant à l'oxydation complète.

(¹) *Mém. poudr. salp.* : **1** 106.
(²) *Mém. poudr. salp.* : **2** 5.
(³) Bunsen et Schischkoff, *Théorie chimique de la combustion de la poudre.*
(⁴) Sarrau et Vieille, *Étude sur la décomposition de quelques explosifs* (*Mém. poudr. salp.* : **2** 153).

Digitized by Google

VOLUME DES GAZ (LITRES) PAR KILOGRAMME DE LA SUBSTANCE.

	AzO.	CO.	CO^2.	H.	Az.	CH^4.
Nitroglycérine.....	218	162	58	7	6	1
Coton-poudre pur.....	139	237	104	45	33	7
Coton-poudre à l'azotate de potasse.....	71	58	57	3	7	»
Coton-poudre à l'azotate d'ammoniaque.....	122	65	103	12	112	»

On voit que, dans ces conditions, les composés azotés, y compris ceux dont la composition répond à une oxydation complète, cessent de se décomposer suivant le mode de décomposition constaté sous les pressions élevées et donnent un dégagement abondant de bioxyde d'azote, qui produit des vapeurs nitreuses, et d'oxyde de carbone, qui est un gaz délétère.

IV. — Décomposition par détonation.

91. ONDE EXPLOSIVE. — Les détonateurs, dont l'amorce au fulminate de mercure est le type usuel, provoquent dans les explosifs azotés une décomposition qui se propage avec une rapidité telle que la masse tout entière se trouve décomposée dans un volume peu différent de son volume initial. Ce régime de propagation à très grande vitesse constitue l'*onde explosive*.

Pour observer ce mode de décomposition remarquable, il suffit de placer à l'air libre, bout à bout, une file de cartouches de coton-poudre ou de dynamite et d'amorcer l'une des extrémités de cette file par un détonateur au fulminate de mercure; on obtient par l'explosion du détonateur une détonation d'ensemble de durée inappréciable à l'oreille, tandis que l'inflammation ordinaire de l'une des extrémités eût fourni la combustion lente, avec produits de décomposition spéciaux, que nous avons précédemment décrite.

92. La vitesse de propagation de la détonation dans une charge allongée peut être mesurée avec précision. Il suffit de disposer, à des points de la charge suffisamment éloignés, un fil métallique qui sera rompu lorsque la détonation parviendra jusqu'à lui.

Digitized by Google

On fait passer un courant électrique dans chaque fil et l'on évalue, à l'aide d'appareils analogues à celui qui sert à la mesure de la vitesse d'un projectile, le temps qui s'écoule entre la rupture de deux courants; en divisant par ce temps la distance des fils, on a la vitesse de propagation.

Dans un tube rempli de nitroglycérine, cette vitesse est d'environ 1000^m par seconde, et, si l'on donne à la nitroglycérine une porosité plus grande en la mettant sous forme de dynamite, cette vitesse s'élève à 3000^m ou 4000^m par seconde. Elle atteint 5000^m ou 7000^m dans le coton-poudre ou autres explosifs azotés, comprimés dans de longs tubes de plomb.

Avec de telles vitesses de propagation, la décomposition tend à se rapprocher d'un mode limite dans lequel l'explosion de la matière aurait lieu dans son propre volume. Les pressions énormes qui en résultent produisent la déformation, la rupture et la pulvérisation des matériaux placés au contact de la charge.

On a pu vérifier que les produits de la détonation ne diffèrent pas sensiblement de ceux qui se forment par inflammation simple, en vases clos, aux fortes densités de chargement (1). La détonation paraît donc uniquement caractérisée par la rapidité avec laquelle la décomposition se produit sous l'influence du détonateur (2).

93. Les explosifs à base de chlorate de potasse présentent très nettement les propriétés détonantes sous l'influence de l'amorce au fulminate de mercure; ils peuvent produire alors, à l'air libre, des effets de rupture fort importants, bien qu'inférieurs à ceux que l'on obtient avec les explosifs azotés.

---

(1) *Mém. poudr. salp.* : **2** 234.

(2) L'onde explosive a été le sujet d'importantes recherches de MM. Berthelot et Vieille; elle se propage dans les mélanges gazeux suivant des lois simples qui ont été établies par une longue suite d'expériences faites sur les systèmes gazeux les plus divers (*Sur la force des matières explosives*, t. II, p. 133).

La Commission des substances explosives a poursuivi cette étude sur des corps solides et liquides et les résultats obtenus par elle ont été résumés, par M. Berthelot, d'abord dans les *Annales de Chimie et de Physique*, 6e série, t. VI, p. 556, ensuite dans le *Mém. poudr. salp.* : **4** 7.

Voir, sur le même sujet, une Note de M. Vieille : *De l'influence du covolume des gaz sur la vitesse de propagation des phénomènes explosifs* (*Mém. poudr. salp.* : **4** 20).

Digitized by Google

Les poudres à bases d'azotates ne donnent aucun effet détonant appréciable.

94. On peut citer, comme susceptibles de jouer le rôle de détonateurs, certains composés endothermiques dont la décomposition se produit en toute circonstance avec une rapidité extrême. Tels sont le nitrate de diazobenzol, le chlorure, l'iodure et le sulfure d'azote.

Dans certains cas, on emploie des détonateurs intermédiaires; c'est ainsi que la détonation du coton-poudre comprimé *humide* est produite par une amorce de coton-poudre *sec* excitée par le fulminate de mercure.

Le choc détermine la détonation de la plupart des substances explosives.

95. Ratés de détonation. — Par suite de défectuosités de l'amorce ou de l'amorçage, une charge peut s'enflammer et fuser lentement au lieu de détoner; il y a alors ce qu'on appelle un *raté de détonation*.

Les explosifs azotés se décomposent alors suivant le mode caractéristique des faibles pressions avec dégagement de bioxyde d'azote et d'oxyde de carbone (1); il importe donc, dans les travaux de galerie, d'éviter les ratés en apportant le plus grand soin au choix de l'amorce et aux conditions de l'amorçage.

CHAPITRE VII.

CALCULS THÉORIQUES.

I. — La Méthode.

96. Formule de la pression. — Lorsqu'un explosif se décompose dans une capacité invariable, la pression qu'il produit est donnée, en fonction de la densité de chargement Δ, par la for-

(1) *Mem. poudr. salpˢ* : 2 134.

Digitized by Google

mule (25) du n° 62,

$$p = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}, \tag{25}$$

f, α étant la *force* et le *covolume* de l'explosif. Ces deux quantités sont d'ailleurs données par les formules (26) du même numéro,

$$f = \frac{p_0 v_0 T}{273}, \qquad \alpha = \alpha' + \frac{v_0}{1000}, \tag{26}$$

dans lesquelles on désigne par

v_0 le volume (réduit à 0° et 760^{mm}) des gaz produits par 1^{kg} de l'explosif;

T la température absolue de l'explosion;

α' le volume, à la température et sous la pression de l'explosion, du résidu non gazeux produit par 1^{kg} de l'explosif.

Le calcul théorique des pressions se réduit donc à la connaissance des trois quantités (v_0, T, α'); voici comment on peut les calculer quand on connaît la composition de l'explosif ainsi que la composition des produits de l'explosion.

97. Calcul de v_0. — Supposons que la décomposition de l'unité de poids d'un explosif produise des corps gazeux dont les poids respectifs soient m_1, m_2, ..., leurs volumes spécifiques étant v_1, v_2, ... Le volume spécifique de l'explosif est

$$v_0 = m_1 v_1 + m_2 v_2 + \ldots.$$

Soient maintenant e l'équivalent de l'explosif et $n_1\varpi_1$, $n_2\varpi_2$, ... les poids des gaz produits par sa décomposition, ϖ_1, ϖ_2, ... étant leurs poids moléculaires respectifs; on a

$$m_1 = \frac{n_1\varpi_1}{e}, \qquad m_2 = \frac{n_2\varpi_2}{e}, \qquad \ldots$$

et, par suite,

$$ev_0 = n_1\varpi_1 v_1 + n_2\varpi_2 v_2 + \ldots$$

Mais, d'après la loi des volumes moléculaires (n° 6), on a $\varpi_1 v_1 = \varpi_2 v_2 = \ldots = h$; donc

$$ev_0 = h(n_1 + n_2 + \ldots),$$

Digitized by Google

ce que l'on peut écrire

$$ev_0 = h\Sigma n, \tag{27}$$

le Σ s'étendant aux seuls corps gazeux de la décomposition.

La valeur de h est 22320 (n° 6); les unités étant le litre et le kilogramme, l'équivalent e doit, dans ce calcul, être exprimé en kilogrammes.

98. Calcul de T. — Le calcul théorique de la température d'une réaction explosive a été donné précédemment (n° **23**); on peut le résumer comme il suit.

Une réaction explosive, quand on en connaît les produits, se représente par une équation

$$e = \Sigma n\varpi, \tag{28}$$

dans laquelle e représente l'équivalent de l'explosif et ϖ l'équivalent (ou poids moléculaire) de l'un quelconque des produits.

La table thermochimique donne les chaleurs de formation q_1 et q_2 de l'état initial et de l'état final, d'où la différence $q = q_2 - q_1$.

En désignant par $a + bt$ la chaleur équivalente (ou moléculaire) du corps ϖ et posant

$$A = \Sigma na, \qquad B = \tfrac{1}{2}\Sigma nb, \tag{29}$$

la température t de l'explosion est donnée par l'équation

$$Bt^2 + At - q = 0. \tag{30}$$

On a ensuite $T = 273 + t$.

99. Calcul de α'. — A défaut de données plus précises, on calcule α' en se servant des volumes des divers corps mesurés dans les conditions ordinaires de température et de pression.

Le tableau IV (p. 233) fait connaître, pour divers corps pouvant se présenter dans les produits non gazeux des explosions, le volume (litres) d'un poids du corps égal à l'équivalent (kilogrammes).

100. Premier exemple. — Soit la nitroglycérine dont la décomposition explosive est représentée par l'équation

$$2C^3H^5O^9Az^3 = 6CO^2 + 5H^2O + 3Az^2 + 0{,}5O^2,$$

Digitized by Google

dont le premier membre correspond à l'équivalent

$$e = 2 \times 227 = 454.$$

Tous les produits, y compris l'eau, sont gazeux.

1° *Calcul de* v_0. — On a, dans la formule (27),

$$e = 454, \qquad \Sigma n = 6 + 5 + 3 + 0{,}5 = 14{,}5,$$

d'où $v_0 = 712^{lit}$.

2° *Calcul de* T. — Prenant, dans le tableau II (p. 231), les chaleurs de formation de CO^2, H^2O (gaz), ainsi que celle de la nitroglycérine, on trouve

$$\begin{aligned} q_2 &= 6 \times 94{,}3 + 5 \times 58{,}2 = 856{,}8 \\ q_1 &= 2 \times 94{,}5 = 189{,}0 \\ q &= q_2 - q_1 = 667{,}8 \end{aligned}$$

soit, en multipliant par 1000 (n° 26), $q = 667800$.

Pour le calcul de A, B, on remarque que, dans le second membre de l'équation de décomposition, figurent $(6 + 5 = 11)$ molécules de gaz triatomiques et $(3 + 0{,}5 = 3{,}5)$ molécules de gaz diatomiques. D'après le tableau III (p. 233), il en résulte

$$\begin{aligned} A &= 11 \times 6{,}2 + 3{,}5 \times 4{,}8 = 85, \\ B &= 11 \times 0{,}0025 + 3{,}5 \times 0{,}001 = 0{,}0310. \end{aligned}$$

La racine positive de l'équation (30) est alors $t = 3469°$, d'où $T = 3742$.

3° *Calcul de* f. — Avec les valeurs $v_0 = 712$, $T = 3742$, la formule (26) donne $f = 10084$.

(Cette valeur de f se rapportant à la pression évaluée en kilogrammes par centimètre carré, la pression p_0 a été évaluée de la même manière, et l'on a pris en conséquence $p_0 = 1{,}0333$.)

4° *Calcul de* α. — Tous les produits étant gazeux, on a $\alpha' = 0$ et $\alpha = \frac{v_0}{1000}$, soit $\alpha = 0{,}712$.

En résumé, les éléments calculés sont, pour la nitroglycérine,

$$v_0 = 712, \qquad t = 3469°, \qquad f = 10084, \qquad \alpha = 0{,}712.$$

Digitized by Google

101. Deuxième exemple. — L'équation suivante peut être considérée comme représentant approximativement la décomposition de la poudre de guerre :

$$10\,AzO^3K + 4S + 12C = CO^3K^2 + 2SO^4K^2 + 2K^2S + 8CO^2 + 3CO + 5Az^2.$$

Au premier membre correspond la valeur $e = 1282$; nous supposerons que les corps CO^2, CO, Az sont seuls gazeux à la température de l'explosion.

1° *Calcul de* v_0. — On a, dans la formule (27),

$$e = 1282, \qquad \Sigma n = 8 + 3 + 5 = 16,$$

d'où $v_0 = 279^{lit}$.

2° *Calcul de* T. — On a d'abord

$$q_2 = 278{,}8 + 2 \times 344{,}2 + 2 \times 103{,}4 + 8 \times 94{,}3 + 3 \times 26{,}0 = 2006{,}4$$
$$q_1 = 10 \times 119 = 1190{,}0$$
$$q = q_2 - q_1 = 816{,}4$$

soit, en multipliant par 1000 (n° 26), $q = 816400$.

On trouve ensuite

$$A = 30 + 2 \times 33{,}2 + 2 \times 17{,}8 + 8 \times 6{,}2 + 8 \times 4{,}8 = 220.$$
$$B = 8 \times 0{,}0025 + 8 \times 0{,}001 = 0{,}028.$$

On tire enfin de l'équation (30), $t = 2751°$ et $T = 3024$.

3° *Calcul de* f. — Avec les valeurs $v_0 = 279$, $T = 3024$, la formule (26) donne $f = 3193$.

4° *Calcul de* α. — On a, dans le cas actuel : $\alpha = \alpha' + \frac{v_0}{1000}$. Pour calculer α', on remarque que, d'après le tableau IV (p. 233), le volume des produits non gazeux est $62 + 2 \times 66 + 2 \times 37 = 268$. Ce volume correspond à un poids de l'explosif égal à 1282; pour l'unité de poids, le volume est $\alpha' = \frac{268}{1282} = 0{,}209$.

Il en résulte $\alpha = 0{,}209 + 0{,}279$, soit $\alpha = 0{,}488$.

En résumé, les éléments calculés sont, pour la poudre de guerre,

$$v_0 = 279, \qquad t = 2751°, \qquad f = 3193, \qquad \alpha = 0{,}488.$$

Digitized by Google

II. — Quelques formules générales.

102. Nous signalerons, comme pouvant être utilisées dans les calculs de ce genre, les équations suivantes qui présentent, sous une forme générale, le mode de décomposition de quelques explosifs.

103. Poudres a base de salpêtre. — En admettant les produits habituels de la décomposition (n° 86), on peut poser

$$(31)\quad \left\{ l\,AzO^3K + m\,S + n\,C = \alpha\,CO^3K^2 + \beta\,SO^4K^2 + \gamma\,SK^2 + \delta\,CO^2 + \varepsilon\,CO + \tfrac{1}{2}\,l\,Az^2. \right.$$

En égalant les quantités des éléments (O, K, S, C) figurant dans les deux membres, on a quatre équations, d'où l'on tire

$$(32)\quad \begin{cases} \alpha = \frac{1}{2}\,l - m, \\ \beta = \frac{5}{8}\,l + \frac{1}{4}\,m - \frac{1}{2}\,n + \frac{1}{4}\,\varepsilon, \\ \gamma = -\frac{5}{8}\,l + \frac{3}{4}\,m + \frac{1}{2}\,n - \frac{1}{4}\,\varepsilon, \\ \delta = -\frac{1}{2}\,l + m + n - \varepsilon. \end{cases}$$

Le taux d'oxyde de carbone reste seul indéterminé; on peut lui attribuer diverses valeurs auxquelles les formules précédentes assignent d'ailleurs, en général, certaines limites.

Pour calculer le volume spécifique v_0, il faut considérer la somme $\delta + \varepsilon + \frac{1}{2}\,l$, qui se réduit à $m + n$ en remplaçant δ par sa valeur. La formule (27) devient donc

$$(33)\quad ev_0 = h(m+n),$$

de sorte que le volume spécifique v_0 est indépendant du mode de décomposition de l'explosif.

104. Explosifs azotés a oxydation complète. — Soit un explosif azoté $C^pH^qO^rAz^s$; les quantités d'oxygène nécessaires pour transformer C^p en acide carbonique et H^q en eau sont O^{2p} et $H^{\frac{q}{2}}$, au total $O^{2p+\frac{q}{2}}$. La relation $r = 2p + \frac{q}{2}$ est donc celle qui correspond à une oxydation exacte; la combustion est totale dans

Digitized by Google

ce cas, et elle est représentée par l'équation

$$(34) \qquad C^p H^q O^r Az^s = p\,CO^2 + \frac{q}{2} H^2O + s\,Az.$$

Si l'on a $r > 2p + \frac{q}{2}$, l'oxygène en excès se dégage, à l'état libre, suivant l'équation

$$(35) \qquad C^p H^q O^r Az^s = p\,CO^2 + \frac{q}{2} H^2O + \left(r - 2p - \frac{q}{2}\right) O + s\,Az.$$

Cette dernière équation est celle qui convient à la nitroglycérine, à la nitromannite et à l'azotate d'ammoniaque (n° 83).

105. Explosifs a oxydation incomplète. — En admettant les produits ordinaires de la décomposition (n° 87) et négligeant le formène, on peut poser

$$(36) \qquad C^p H^q O^r Az^s = \alpha CO^2 + \beta H^2O + \gamma CO + \delta H^2 + \frac{s}{2} Az^2$$

et l'on déduit les valeurs

$$(37) \qquad \begin{cases} \alpha = -p - \frac{q}{2} + r + \delta, \\ \beta = \frac{q}{2} - \delta, \\ \gamma = 2p + \frac{q}{2} - r - \delta. \end{cases}$$

La valeur de δ reste seule indéterminée. Le volume spécifique est donné par la relation $ev_0 = h\left(\alpha + \beta + \gamma + \delta + \frac{s}{2}\right)$ et, en remplaçant α, β, γ par leurs valeurs, cette relation devient

$$(38) \qquad ev_0 = \left(p + \frac{q}{2} + \frac{s}{2}\right).$$

v_0 est donc indépendant de δ; il est constant, quel que soit le mode de décomposition.

106. En fait, la valeur de δ est fixée par les conditions de l'équilibre chimique; les relations algébriques qui précèdent ne peuvent que lui assigner des limites.

Par exemple, pour l'acide picrique $C^6H^3O^7Az^3$, on a

$$\alpha = \delta - \tfrac{1}{2}, \qquad \beta = \tfrac{3}{2} - \delta, \qquad \gamma = \tfrac{13}{2} - \delta,$$

Digitized by Google

et, pour que α, β, γ soient positifs, il faut que δ soit compris entre $\frac{3}{2}$ et $\frac{1}{2}$.

Pour le coton-poudre $C^{24}H^{29}O^{42}Az^{11}$, on a

$$\alpha = \delta + \tfrac{7}{2}, \qquad \beta = \tfrac{29}{2} - \delta, \qquad \gamma = \tfrac{11}{2} - \delta;$$

les limites de δ sont o et $\frac{29}{2}$.

Pour le collodion $C^{24}H^{32}O^{36}Az^{8}$, on a

$$\alpha = \delta - 4, \qquad \beta = 16 - \delta, \qquad \gamma = 28 - \delta;$$

les limites de δ sont 4 et 16.

107. Mélanges a oxydation complète. — Quand un explosif $C^pH^qO^rAz^s$ ne renferme pas la quantité d'oxygène nécessaire à la combustion totale, on peut le mélanger avec une autre substance $C^{p'}H^{q'}O^{r'}Az^{s'}$ renfermant de l'oxygène en excès et fixer la quantité de celle-ci de manière que le mélange soit à oxydation exacte.

En effet, la formule du mélange est

$$C^pH^qO^rAz^s + mC^{p'}H^{q'}O^{r'}Az^{s'} \quad \text{ou} \quad C^{p+mp'}H^{q+mq'}O^{r+mr'}Az^{s+ms'},$$

et la relation caractéristique de l'oxydation exacte (n° 104) devient

$$r + mr' = 2(p + mp') + \tfrac{1}{2}(q + mq').$$

On en tire

$$m = \frac{\varepsilon}{\varepsilon'}, \tag{39}$$

en posant

$$\varepsilon = 2p + \frac{q}{2} - r, \qquad \varepsilon' = r' - 2p' - \frac{q'}{2}. \tag{40}$$

Les quantités ε, ε' sont positives, puisque la première substance est à oxydation incomplète et que la seconde contient, au contraire, un excès d'oxygène; la valeur de m est donc toujours admissible.

La valeur de m étant ainsi déterminée, la décomposition du mélange se fait suivant l'équation

$$\begin{aligned} &C^pH^qO^rAz^s + mC^{p'}H^{q'}O^{r'}Az^{s'} \\ &= (p + mp')CO^2 + \tfrac{1}{2}(q + mq')H^2O + \tfrac{1}{2}(s + ms')Az^2. \end{aligned} \tag{41}$$

Digitized by Google

Si l'on prend $m > \frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$, le mélange dégage, à l'état libre, de l'oxygène en excès suivant l'équation (35).

Si l'on prend $m < \frac{\varepsilon}{\varepsilon'}$, le mélange est à oxydation incomplète et c'est l'équation (36) qui lui est applicable.

108. Voici quelques cas particuliers :

1° La substance oxydante étant l'acide azotique HO^3Az (*explosifs de Sprengel*), on a $\varepsilon' = \frac{5}{2}$ et, par suite, $m = \frac{2}{5}\varepsilon$;

2° La substance oxydante étant l'acide hypoazotique ou peroxyde d'azote O^2Az (*panclastites*), on a $\varepsilon' = 2$ et, par suite, $m = \frac{1}{2}\varepsilon$;

3° La substance oxydante étant l'azotate d'ammoniaque $H^4O^3Az^2$ (*bellite* et *explosifs Favier*), on a $\varepsilon' = 1$ et, par suite, $m = \varepsilon$.

109. On mélange quelquefois des substances à oxydation complète en y ajoutant des corps complémentaires combustibles, le charbon par exemple, destinés à utiliser l'excès d'oxygène. Un tel mélange, en y considérant le charbon comme du carbone pur, peut être représenté par la formule

$$C^pH^qO^rAz^s + mC^{p'}H^{q'}O^{r'}Az^{s'} + nC,$$

et, pour que la combustion soit totale et exacte, on doit avoir

$$2n = r - 2p - \frac{q}{2} + m\left(r' - 2p' - \frac{q'}{2}\right). \tag{42}$$

Comme exemple, on peut citer la dynamite, constituée par un mélange de nitroglycérine, d'azotate d'ammoniaque et de charbon. On a alors, pour la nitroglycérine ($C^3H^5O^9Az^3$), $r - 2p - \frac{q}{2} = \frac{1}{2}$ et, pour l'azotate d'ammoniaque ($H^4O^3Az^2$), $r' - 2p' - \frac{q'}{2} = 1$; par suite $2n = \frac{1}{2} + m$.

III. — Les applications.

110. Nous allons maintenant donner, pour quelques explosifs définis et mélanges usuels, les valeurs calculées des quantités caractéristiques (v_0, t, f, α), en indiquant dans chaque cas l'équation admise pour représenter la réaction explosive.

Digitized by Google

a. Poudres a base d'azotates.

(1) Salpêtre et charbon (combustion totale) :

$$4\,AzO^3K + 5\,C = 2\,CO^3K^2 + 3\,CO^2 + 2\,Az^2;$$

$v_0 = 240^{lit}$, $t = 3099°$, $f = 3068$, $\alpha = 0{,}507$.

(2) Salpêtre et soufre (combustion totale) :

$$2\,AzO^3K + 2\,S = SO^4K^2 + SO^2 + Az^2;$$

$v_0 = 168^{lit}$, $t = 3171°$, $f = 2188$, $\alpha = 0{,}391$.

(3) Salpêtre, soufre et charbon (combustion totale) :

$$10\,AzO^3K + 3\,S + 8\,C = 2\,CO^3K^2 + 3\,SO^4K^2 + 6\,CO^2 + 5\,Az^2;$$

$v_0 = 204^{lit}$, $t = 3354°$, $f = 2804$, $\alpha = 0{,}472$.

(4) Salpêtre, soufre et charbon (poudre de guerre) :

$$10\,AzO^3K + 4\,S + 12\,C = CO^3K^2 + 2\,SO^4K^2 + 2\,K^2S + 8\,CO^2 + 3\,CO + 5\,Az^2;$$

$v_0 = 279^{lit}$, $t = 2751°$, $f = 3193$, $\alpha = 0{,}488$.

(5)* $2\,AzO^3K + S + 3\,C = K^2S + 3\,CO^2 + Az^2$;

$v_0 = 331^{lit}$, $t = 2405°$, $f = 3552$, $\alpha = 0{,}468$.

$4\,AzO^3K + 5\,C = 3\,CO^3K^2 + 3\,CO^2 + 2\,Az^2$;

$v_0 = 240^{lit}$, $t = 3099°$, $f = 3068$, $\alpha = 0{,}507$.

$2\,AzO^3K + 3\,C = CO^3K^2 + CO^2 + CO + Az^2$;

$v_0 = 281^{lit}$, $t = 2766°$, $f = 3236$, $\alpha = 0{,}542$.

$2\,AzO^3K + S + 2\,C = SO^4K^2 + 2\,CO + Az^2$;

$v_0 = 261^{lit},5$, $t = 2822°$, $f = 3064$, $\alpha = 0{,}519$.

$2\,AzO^3K + S + C = SO^4K^2 + CO^2 + Az^2$;

$v_0 = 181^{lit}$, $t = 3543°$, $f = 2621$, $\alpha = 0{,}449$.

(*) Ces équations ont été signalées par M. Berthelot comme pouvant servir à représenter les réactions principales des mélanges ternaires qui constituent la poudre ordinaire.

« Dans le cas de la poudre, comme dans celui de l'azotate d'ammoniaque et généralement des matières qui n'éprouvent pas une combustion totale, il se produit plusieurs réactions simultanées, dues à la diversité des conditions locales de la combustion, au défaut inévitable d'homogénéité dans un mélange purement

Digitized by Google

b. — POUDRES A BASE DE CHLORATE.

(6) Chlorate de potasse et charbon (combustion totale) :

$$2\,ClO^3K + 3C = 3CO^2 + 2KCl;$$

$$v_0 = 238^{lit}, \quad t = 4087°, \quad f = 3923, \quad \alpha = 0{,}508.$$

(7) Chlorate de potasse et soufre (combustion totale) :

$$2\,ClO^3K + 3S = 3SO^2 + 2KCl;$$

$$v_0 = 196^{lit}, \quad t = 3335°, \quad f = 2689, \quad \alpha = 0{,}419.$$

(8) Chlorate de potasse, soufre et charbon (combustion totale) :

$$22\,ClO^3K + 9S = 24CO^2 + 9SO^2 + 22KCl;$$

$$v_0 = 225^{lit}, \quad t = 3889°, \quad f = 3547, \quad \alpha = 0{,}440.$$

c. — DÉRIVÉS AZOTIQUES.

(9) Nitroglycérine :

$$2\,C^3H^5O^9Az^3 = 6CO^2 + 5H^2O + 3Az^2 + 0{,}5O^2;$$

$$v_0 = 712^{lit}, \quad t = 3469°, \quad f = 10084, \quad \alpha = 0{,}712.$$

(10) Nitromannite :

$$C^6H^8O^{18}Az^6 = 6CO^2 + 4H^2O + 3Az^2 + O^2;$$

$$v_0 = 723^{lit}, \quad t = 3429°, \quad f = 10135, \quad \alpha = 0{,}723.$$

(11) Cellulose endécanitrique (coton-poudre) :

$$C^{24}H^{29}O^{62}Az^{11} = 12CO^2 + 6H^2O + 12CO + 8{,}5H^2 + 5{,}5Az^2;$$

$$v_0 = 859^{lit}, \quad t = 2710°, \quad f = 9701, \quad \alpha = 0{,}859.$$

(12) Cellulose octonitrique (collodion) :

$$C^{24}H^{32}O^{36}Az^8 = 6CO^2 + 6H^2O + 18CO + 10H^2 + 4Az^2;$$

$$v_0 = 974^{lit}, \quad t = 1943°, \quad f = 8171, \quad \alpha = 0{,}974.$$

---

mécanique de trois corps pulvérisés, enfin à la promptitude du refroidissement de la masse, qui ne permet pas aux réactions d'atteindre leurs limites d'équilibre définitif. »

En se bornant aux produits principaux, les équations peuvent se réduire à celles qui sont reproduites ci-dessus.

« En les combinant entre elles, deux à deux, trois à trois, etc., on obtient des systèmes d'équations simultanées qui représentent toutes les analyses, aussi bien les cas limites que les cas intermédiaires. » *Force des matières explosives*, t. II, p. 294.

Digitized by Google

(13) Acide picrique :

$$2C^6H^3O^7Az^3 = CO^2 + H^2O + 11CO + 2H^2 + 3Az^2;$$

$v_0 = 877^{lit}$, $t = 2427°$, $f = 8964$, $\alpha = 0{,}877$.

(13) Picrate d'ammoniaque :

$$2C^6H^6O^7Az^4 = CO^2 + H^2O + 11CO + 2H^2 + 4Az^2;$$

$v_0 = 998^{lit}$, $t = 1810°$, $f = 7868$, $\alpha = 0{,}998$.

(15) Picrate de potasse :

$$16C^6H^2KO^7Az^3 = 6CO^3K^2 + 4CAzK + 21CO^2 + 52CO + 22Az^2 + 4H^2 + 6CH^4 + 7C;$$

$v_0 = 549^{lit}$, $t = 2779°$, $f = 6352$, $\alpha = 0{,}658$.

d. — Composés diazoïques.

(16) Azotate de diazobenzol :

$$C^6H^5O^3Az^3 = 3CO + 2{,}5H^2 + 1{,}5Az^2 + 3C;$$

$v_0 = 935^{lit}$, $t = 2054°$, $f = 8240$, $\alpha = 1{,}079$.

(17) Fulminate de mercure :

$$C^2HgO^2Az^2 = 2CO + Az_2 + Hg;$$

$v_0 = 314^{lit}$, $t = 3533°$, $f = 4529$, $\alpha = 0{,}314$.

e. — Dynamites.

(18) Dynamite à 25 pour 100 de silice :

$$4C^3H^5O^9Az^3 + 5SiO^2 = 12CO^2 + 10H^2O + 6Az^2 + O^2 + 5SiO^2;$$

$v_0 = 628^{lit}$, $t = 3161°$, $f = 7797$, $\alpha = 0{,}723$.

(19) Nitroglycérine et coton-poudre :

$$C^{24}H^{29}O^{42}Az^{11} + 41C^3H^5O^9Az^3 = 147CO^2 + 117H^2O + 67Az^2;$$

$v_0 = 707^{lit}$, $t = 3557°$, $f = 10250$, $\alpha = 0{,}707$.

(20) Nitroglycérine et collodion (dynamite gomme) :

$$C^{24}H^{32}O^{36}Az^8 + 56C^3H^5O^9Az^3 = 192CO^2 + 156H^2O + 88Az^2;$$

$v_0 = 709^{lit}$, $t = 3545°$, $f = 10275$, $\alpha = 0{,}709$.

Digitized by Google

f. — AZOTATE D'AMMONIAQUE ET DÉRIVÉS AZOTIQUES.

(21) Azotate d'ammoniaque :

$$H^4O^3Az^2 = 2H^2O + Az^2 + 0{,}5\,O^2;$$

$v_0 = 976^{lit}$, $t = 1051°$, $f = 4894$, $\alpha = 0{,}976$.

(22) Nitroglycérine et azotate d'ammoniaque (grisoutine) :

$$C^3H^5O^9Az^3 + 15\,H^4O^3Az^2 = 3\,CO^2 + 35{,}5\,H^2O + 8{,}25\,O^2 + 16{,}5\,Az^2;$$

$v_0 = 989^{lit}$, $t = 1658°$, $f = 7231$, $\alpha = 0{,}989$.

(23) Coton-poudre et azotate d'ammoniaque (combustion totale) :

$$C^{24}H^{29}O^{12}Az^{11} + 20{,}5\,H^4O^3Az^2 = 24\,CO^2 + 55{,}5\,H^2O + 26\,Az^2;$$

$v_0 = 846^{lit}$, $t = 2561°$, $f = 9076$, $\alpha = 0{,}846$.

(24) Naphtaline et azotate d'ammoniaque (combustion totale) (1) :

$$C^{10}H^8 + 24\,H^4O^3Az^2 = 10\,CO^2 + 52\,H^2O + 24\,Az^2;$$

$v_0 = 937^{lit}$, $t = 2122°$, $f = 8496$, $\alpha = 0{,}937$.

(25) Binitronaphtaline et azotate d'ammoniaque (combust. tot.)(1) :

$$C^{10}H^6O^4Az^2 + 19\,H^4O^3Az^2 = 10\,CO^2 = 41\,H^2O + 20\,Az^2;$$

$v_0 = 912^{lit}$, $t = 2229°$, $f = 8635$, $\alpha = 0{,}912$.

(26) Binitrobenzine et azotate d'ammoniaque (combust. tot.) (2) :

$$C^6H^4O^4Az^2 + 10\,H^4O^3Az^2 = 6\,CO^2 + 22\,H^2O + 11\,Az^2;$$

$v_0 = 899^{lit}$, $t = 2305°$, $f = 8774$, $\alpha = 0{,}899$.

g. — EXPLOSIFS DIVERS.

(27) Acide picrique et acide azotique (combustion totale) (3) :

$$5\,C^6H^3O^7Az^3 + 13\,AzO^3H = 30\,CO^2 + 14\,H^2O + 14\,Az^2;$$

$v_0 = 659^{lit}$, $t = 3631°$, $f = 9740$, $\alpha = 0{,}659$.

(28) Binitrobenzine et acide azotique (combustion totale) (3) :

$$C^6H^4O^4Az^2 + 4\,AzO^3H = 6\,CO^2 + 4\,H^2O + 3\,Az^2;$$

$v_0 = 691^{lit}$, $t = 3532°$, $f = 9949$, $\alpha = 0{,}691$.

(1) Explosif Favier.
(2) Bellite Lamm.
(3) Explosif Sprengel.

Digitized by Google

(29) Sulfure de carbone et acide hypoazotique (combust. tot.) (1) :

$$CS^2 + 3AzO^2 = CO^2 + 2SO^2 + 1,5Az^2;$$

$v_0 = 469^{lit}$, $t = 3964°$, $f = 7527$, $\alpha = 0,469$.

(30) Nitrobenzine et acide hypoazotique (combust. totale) (1) :

$$4C^6H^5O^2Az + 25AzO^2 = 24CO^2 + 10H^2O + 14,5Az^2;$$

$v_0 = 659^{lit}$, $t = 4078$, $f = 10860$, $\alpha = 0,659$.

(31) Picrate d'ammoniaque et azotate de potasse (comb. tot.) (2) :

$$5C^6H^6O^7Az^4 + 16AzO^3K = 8CO^3K^2 + 22CO^2 + 15H^2O + 18Az^2;$$

$v_0 = 431^{lit}$, $t = 3217°$, $f = 5698$, $\alpha = 0,605$.

(32) Picrate d'ammoniaque et azotate d'ammoniaque (comb. tot.) :

$$C^6H^6O^7Az^4 + 8H^4O^3Az^2 = 6CO^2 + 19H^2O + 10Az^2;$$

$v_0 = 882^{lit}$, $t = 2360°$, $f = 8787$, $\alpha = 0,882$.

h. — Mélanges gazeux explosifs (3).

(33) Hydrogène et oxygène :

$$H^2 + O = H^2O.$$

$v_0 = 1240^{lit}$, $t = 3742°$, $f = 18145$, $\alpha = 1,240$.

---

(1) Panclastite Turpin.

(2) La poudre Brugère, qui a fait l'objet d'études balistiques remarquables (*Mém. poudr. salp.* : **2** 16) est formée de picrate d'ammoniaque et d'azotate de potasse; elle renferme 54 parties de picrate et 46 de salpêtre. Avec ces proportions, la combustion n'est pas totale et, par suite, la réaction n'est pas connue *a priori;* on peut cependant admettre que la force ne diffère pas beaucoup de celle qui correspond à une oxydation exacte, c'est-à-dire qu'elle est à peu près double de celle de la poudre noire ordinaire.

(3) On a précédemment étudié (Chap. III) les effets que certains mélanges gazeux explosifs produisent dans une capacité close quand ils y sont introduits dans les conditions ordinaires de température et de pression. Quand on leur applique le calcul qui sert à trouver f, on trouve pour cette quantité des valeurs généralement fort élevées; il en résulte que, si l'on comprimait à l'avance ces systèmes de manière à leur donner de grandes densités, les pressions explosives réalisées pourraient être très considérables. Mais il faudrait, pour cela, amener préalablement la densité de ces gaz aux valeurs qu'ont habituellement les densités des explosifs liquides ou solides. Outre les difficultés pratiques d'une telle compression, elle aurait pour effet de liquéfier certains de ces gaz en laissant les autres à l'état gazeux, ce qui détruirait l'homogénéité des mélanges et la possibilité de les enflammer d'un seul coup.

Digitized by Google

(34) Hydrogène et protoxyde d'azote :
$$H^2 + Az^2O = H^2O + Az^2;$$
$v_0 = 970^{lit}$, $t = 3427°$, $f = 13590$, $\alpha = 0{,}970$.

(35) Oxyde de carbone et oxygène :
$$CO + O = CO^2.$$
$v_0 = 507^{lit}$, $t = 4132°$, $f = 8457$, $\alpha = 0{,}507$.

(36) Cyanogène et oxygène (combustion totale) :
$$C^2Az^2 + 4O = 2CO^2 + Az^2;$$
$v_0 = 577^{lit}$, $t = 5335°$, $f = 12250$, $\alpha = 0{,}577$.

(37) Cyanogène et oxygène (demi-combustion) :
$$C^2Az^2 + 2O = 2CO + Az^2.$$
$v_0 = 797^{lit}$, $t = 4509°$, $f = 14425$, $\alpha = 0{,}797$.

(38) Cyanogène et bioxyde d'azote (combustion totale) :
$$C^2Az^2 + 4AzO = 2CO^2 + 3Az^2;$$
$v_0 = 649^{lit}$, $t = 5138°$, $f = 13285$, $\alpha = 0{,}649$.

(39) Cyanogène et protoxyde d'azote (combustion totale) :
$$C^2Az^2 + 4Az^2O = 2CO^2 + 5Az^2;$$
$v_0 = 685^{lit}$, $t = 4674°$, $f = 12830$, $\alpha = 0{,}685$.

(40) Cyanogène et bioxyde d'azote (demi-combustion) :
$$C^2Az^2 + 2AzO = 2CO + 2Az^2.$$
$v_0 = 797^{lit}$, $t = 4531°$, $f = 14490$, $\alpha = 0{,}797$.

(41) Cyanogène et protoxyde d'azote (demi-combustion) :
$$C^2Az^2 + 2Az^2O = 2CO + 3Az^2.$$
$v_0 = 797^{lit}$, $t = 3860°$, $f = 12470$, $\alpha = 0{,}797$.

111. Calcul des pressions. — Le tableau suivant résume les pressions calculées par la formule $p = \frac{f\Delta}{1 - \alpha\Delta}$, pour quelques explosifs, avec les valeurs de (f, α) trouvées au numéro précédent.

Digitized by Google

Densité de chargement.	Poudre noire.	Nitroglycérine.	Coton-poudre.	Acide picrique.	Azotate d'ammoniaque.	Fulminate de mercure.
0,1	336	1098	1061	983	542	468
0,2	708	2351	2343	2174	1217	966
0,3	1123	3847	3921	3650	2077	1501
0,4	1587	5640	5912	5523	3211	2072
0,5	2112	7829	8502	7982	4779	2686
0,6	2708	10560	12000	11350	7082	3347
0,7	3393	14060	17020	16240	10800	4062
0,8	4201	21520	24810	24030	17870	4952
0,9	5126	25270	38500	38310	36250	5683
1,0	6236	35010	»	»	»	6602
1,2	9255	»	»	»	»	8726
1,4	14130	»	»	»	»	11320
1,6	29340	»	»	»	»	14560
1,8	»	»	»	»	»	18790
2,0	»	»	»	»	»	24350
2,4	»	»	»	»	»	43970

La pression devient théoriquement infinie lorsque la densité de chargement atteint une valeur Δ' égale à l'inverse du covolume; en fait, cela signifie que, dans tous les cas où cette densité limite est inférieure à celle de la matière explosive elle-même, il est possible de développer, dans l'espace occupé par cette matière, une pression supérieure à toute grandeur expérimentale donnée.

Les valeurs limites $\Delta' = \frac{1}{\alpha}$ sont les suivantes pour les explosifs qui figurent dans le tableau ci-dessus.

Poudre noire	2,05
Nitroglycérine	1,40
Coton-poudre	1,16
Acide picrique	1,14
Azotate d'ammoniaque	1,02
Fulminate de mercure	3,18

La densité réelle de la poudre noire varie, dans les fabrications actuelles, de 1,75 à 1,82 environ; elle n'atteint pas la densité limite. D'après les chiffres du tableau, une charge d'une telle matière remplissant, sans aucun vide, une capacité fermée indéfi-

Digitized by Google

niment résistante y produirait une pression supérieure à 29000^{kg}. Pour les poudres en grains, les interstices compris entre ces grains déterminent une densité apparente, dite *gravimétrique,* qui est sensiblement égale à 1. Dans ces conditions, la charge de poudre remplissant une capacité fermée y produit une pression voisine de 6000^{kg}, ce qui est d'ailleurs confirmé par l'ensemble des expériences. On peut, en agglomérant les grains par compression, porter la densité gravimétrique à 1,4 environ; la pression théorique atteint alors 14000^{kg}.

La densité du coton-poudre comprimé employé dans les usages militaires varie de 1,0 à 1,2; elle est sensiblement égale à la densité limite. Les densités de la nitroglycérine, de l'acide picrique et de l'azotate d'ammoniaque sont toutes supérieures aux densités limites correspondantes. Toutes ces substances peuvent donc produire, dans des capacités invariables, des pressions dépassant toute grandeur imaginable. Ces pressions sont toutefois limitées quand les matières sont réduites en grains, les densités apparentes des charges devenant ainsi la moitié environ des densités réelles de la substance.

La densité limite du fulminate de mercure (3,18) est exceptionnellement grande, en raison de la petitesse du covolume; mais la substance, ayant une densité réelle ou apparente encore plus grande, peut développer, comme les précédentes, des pressions indéfiniment croissantes.

CHAPITRE VIII.

TRAVAIL DES EXPLOSIFS.

112. Nous avons considéré jusqu'à présent la pression développée par la décomposition d'un explosif dans une enveloppe fixe et résistante. Étudions maintenant les effets produits par les gaz dans une capacité d'un volume variable, ainsi que cela a lieu, par exemple, dans l'intérieur des armes, par suite du déplacement du projectile.

Digitized by Google

Nous ne considérerons que le cas simple d'une détente indéfinie. Le cas d'une détente partielle, accomplie avec la décomposition progressive de la charge, est beaucoup plus complexe; il sera l'objet d'une étude ultérieure.

113. Travail maximum. — Considérons un poids quelconque d'un explosif se décomposant dans une enceinte dont le volume puisse croître indéfiniment et évaluons le travail de la détente en supposant :

1° Que la force vive des produits soit négligeable;

2° Qu'il n'y ait aucune perte de chaleur par les parois;

3° Que tous les produits de l'explosion (gazeux et non gazeux) soient constamment en équilibre de température, de telle sorte que la chaleur émise par les produits non gazeux, en s'abaissant à la température moyenne du mélange, soit totalement absorbée par les produits gazeux et transformée en travail par leur intermédiaire.

En supposant la détente indéfinie, le travail accompli dans ces conditions est le plus grand que l'explosif puisse accomplir à partir de son état initial. Ce *travail maximum* s'évalue de la manière suivante.

114. Soit t_0 la température initiale de l'explosif et U_1 son énergie (en calories); si cet explosif se décomposait sans perte de chaleur et sans production de travail, l'énergie des produits resterait égale à U_1; mais elle diminue, quand l'explosif développe du travail et, d'après le principe de l'équivalence, ce travail, accompli sans perte de chaleur et sans force vive sensible du système, est égal à la perte d'énergie (en kilogrammètres). La température des produits s'abaisse ainsi par la détente, à partir de la température d'explosion, et une détente indéfinie l'amène théoriquement au zéro absolu; en désignant par U_0 la valeur correspondante de l'énergie et par E l'équivalent mécanique de la chaleur, ce travail est

$$\mathfrak{T} = E(U_1 - U_0).$$

Le terme U_1 dépendant de t_0, $\mathfrak{T}$ en dépend aussi. Il est naturel

Digitized by Google

de prendre l'explosif à la température normale des conditions d'emploi; t_0 est alors la température ordinaire, par exemple, celle ($+15°$) des tables thermochimiques.

Désignons maintenant par U_2 l'énergie des produits à la température t_0, dans leur état physique réel. La différence $U_2 - U_0$ est, en général, très petite, par rapport à $U_1 - U_0$ de sorte que l'on peut écrire avec une approximation suffisante

$$\mathfrak{T} = E(U_1 - U_2).$$

Cette valeur approchée du travail maximum peut être déterminée, soit par expérience, soit par un calcul théorique.

115. Détermination expérimentale. — La différence $U_1 - U_2$ est égale à la quantité de chaleur dégagée par la décomposition de l'explosif, l'explosif (état initial) et les produits (état final) étant à la température t_0.

Il suffit donc de produire la décomposition de l'explosif dans un calorimètre et de mesurer la quantité de chaleur q dégagée à la température t_0; on a $\mathfrak{T} = Eq$.

116. Calcul théorique. — En désignant par q_1 et q_2 les chaleurs de formation de l'explosif et des produits de l'explosion à la température t_0, on a $U_1 - U_2 = q_2 - q_1$ et, par suite, $\mathfrak{T} = E(q_2 - q_1)$.

On peut donc, quand on connaît l'équation de la décomposition, calculer $\mathfrak{T}$ par un calcul analogue à celui des pressions; seulement, dans le calcul actuel, les produits doivent être considérés, à la température t_0, dans leur état physique réel; on devra prendre, par exemple, comme chaleur de formation de l'eau, celle qui répond à l'état liquide.

Dans ce calcul, qui n'emploie que des quantités de chaleur, on peut prendre les unités ordinaires des tables thermochimiques; les équivalents sont alors exprimés en *grammes*.

117. *Exemple*. — Soit la nitroglycérine, dont la décomposition est représentée par l'équation

$$2\,C^3H^5O^9Az^3 = 6\,CO^2 + 5\,H^2O + 3\,Az^2 + 0{,}5\,O^2.$$

Digitized by Google

On a, d'après le tableau II (p. 231),

$$q_2 = 6 \times 94{,}3 + 5 \times 69{,}0 = 910{,}8$$
$$q_1 = 2 \times 94{,}5 = 189{,}0$$
$$q = q_2 - q_1 = 721{,}8$$

Au premier membre de l'équation correspond l'équivalent $e = 2 \times 227 = 454$; la chaleur dégagée est donc $721^{Cal},8$ par 454^{gr}, soit 1590 calories par kilogramme.

Le travail maximum d'un kilogramme de nitroglycérine est $426 \times 1590 = 677000^{kgm}$.

118. Potentiel. — Le travail maximum d'un kilogramme d'un explosif est ce que l'on appelle son *potentiel*.

Le tableau suivant résume, pour quelques explosifs, la chaleur dégagée par kilogramme et le potentiel correspondant, calculés suivant le procédé théorique du n° **116**.

On a admis, dans ce calcul, les équations de décomposition qui ont servi, dans le chapitre précédent, à l'évaluation théorique des pressions. Les potentiels sont exprimés en *tonneaux-mètres*.

	Chaleur dégagée.	Potentiel.
Poudre de guerre.....	637	271
Nitroglycérine.....	1590	677
Coton-poudre.....	1073	457
Acide picrique.....	767	319
Azotate d'ammoniaque.....	617	263
Fulminate de mercure.....	407	173

Les quantités de chaleur dégagées par diverses poudres noires, calculées d'après les hypothèses que l'on peut faire sur leur mode de décomposition, sont généralement inférieures à celles que l'on mesure dans les expériences. Cette différence résulte de perturbations et réactions secondaires, dont il n'y a pas lieu de tenir compte dans une théorie purement rationnelle des effets de la poudre (1).

(1) Berthelot, *Force des matières explosives*, t. II, p. 304.

Digitized by Google

Tableau I.

Nombres proportionnels.

Noms.	Symboles.	Poids atomiques.	Équivalents.
Antimoine	Sb	120	120
Argent	Ag	108	108
Arsenic	As	75	75
Azote	Az	14	14
Baryum	Ba	137	68,5
Calcium	Ca	40	20
Carbone	C	12	6
Chlore	Cl	35,5	35,5
Chrome	Cr	52	26
Cuivre	Cu	63,5	31,75
Étain	Sn	118	59
Fer	Fe	56	28
Hydrogène	H	1	1
Iode	I	127	127
Magnésium	Mg	24	12
Mercure	Hg	200	100
Oxygène	O	16	8
Phosphore	P	31	31
Plomb	Pb	207	103,5
Potassium	K	39	39
Sélénium	Se	79	39,5
Silicium	Si	28	14
Sodium	Na	23	23
Soufre	S	32	16
Strontium	Sr	87,5	43,75

Tableau II.

a. Changement d'état des corps simples.

Chaleur dégagée (calories) rapportée à l'équivalent (grammes).

Noms.	Symboles.	Équivalents.	Chaleur dégagée.
Carbone (diamant en carbone amorphe)	C	12	— 3,4
Mercure (liquide en gaz)	Hg	200	—16,6

Digitized by Google

b. Formation des corps composés par leurs éléments.

Les composants et les composés étant pris dans leur état actuel, à + 15°.

Chaleur dégagée (calories) rapportée à l'équivalent (grammes).

	Noms.	Formules.	Équivalent.	Chaleur dégagée.
Composés hydrogénés	Acide chlorhydrique.....	HCl	36,5	+ 22,0
	Eau (gaz).....	H^2O	18	+ 58,2
	Eau (liquide).....	H^2O	18	+ 69,0
	Acide sulfhydrique.....	H^2S	34	+ 4,8
	Ammoniaque.....	AzH^3	17	+ 12,2
	Hydrogène phosphoré (gaz)	PH^3	34	+ 4,9
	Hydrogène arsénié (gaz)...	AsH^3	78	— 44,2
Composés oxygénés et sulfurés	Protoxyde d'azote (gaz)...	Az^2O	44	— 20,6
	Protoxyde d'azote (liquide)	Az^2O	44	— 18,0
	Bioxyde d'azote.....	AzO	30	— 21,6
	Acide hypoazotique (liquide)	AzO^2	46	+ 1,8
	Acide azotique (liquide)...	AzO^3H	63	+ 41,6
	Acide carbonique.....	CO^2	44	+ 94,3
	Oxyde de carbone.....	CO	28	+ 26,0
	Acide sulfureux.....	SO^2	64	+ 69,2
	Sulfure d'azote.....	AzS	46	— 31,9
	Sulfure de carbone (gaz)..	CS^2	76	— 19,0
	Sulfure de carbone (liquide)	CS^2	76	— 25,4
	Séléniure d'azote.....	AzSe	93	— 42,3
Azotates	Azotate d'ammoniaque	$H^4O^3Az^2$	80	+ 88,6
	Azotate de potasse.....	AzO^3K	101	+119,0
	Azotate de soude.....	AzO^3Na	85	+110,6
Chlorates	Chlorate de potasse.....	ClO^3K	122,5	+ 93,8
	Chlorate de soude.....	ClO^3Na	106,5	+ 84,8
Carbonates	Carbonate de potasse.....	CO^3K^2	138	+278,8
	Carbonate de soude.....	CO^3Na^2	106	+274,8
Sulfates	Sulfate de potasse.....	SO^4K^2	174	+344,2
	Sulfate de soude.....	SO^4Na^2	142	+328,0
Sulfures	Sulfure de potassium.....	SK^2	110	+103,4
	Sulfure de sodium.....	SNa^2	78	+ 89,2
	Sulfure d'antimoine.....	Sb^2S^3	340	+ 34,4
Chlorures	Chlorure de potassium.....	KCl	74,5	+105,7
	Chlorure de sodium.....	NaCl	58,5	+ 97,9
	Oxyde antimonieux.....	Sb^2O^3	292	+167,2

Digitized by Google

Tableau II (Suite).

	Noms.	Formules.	Équivalent.	Chaleur dégagée.
Hydrocarbures	Acétylène	C^2H^2	26	— 58,1
	Éthylène	C^2H^4	28	— 14,6
	Méthyle	C^2H^6	30	— 23,3
	Formène	CH^4	16	+ 18,9
	Benzine (gaz)	C^6H^6	78	— 11,3
	Benzine (liquide)	C^6H^6	78	— 4,1
	Naphtaline (liquide)	$C^{10}H^8$	128	— 27,4
	Naphtaline (solide)	$C^{10}H^8$	128	— 22,8
Alcools	Phénol (liquide)	C^6H^6O	94	+ 34,5
	Phénol (solide)	C^6H^6O	94	+ 36,8
	Glycérine (liquide)	$C^3H^8O^3$	92	+161,7
	Mannite	$C^6H^{14}O^6$	182	+320,0
	Cellulose (coton)	$C^{24}H^{20}O^{20}$	648	+921,6
	Éther méthylique (gaz)	C^2H^6O	46	+ 51,4
	Éther ordinaire (gaz)	$C^4H^{10}O$	74	+ 62,8
Éthers	Éther azotique	$C^2H^5O^3Az$	91	+ 48,7
	Nitroglycérine	$C^3H^5O^9Az^3$	227	+ 94,5
	Nitromannite	$C^6H^8O^{18}Az^6$	432	+179,1
	Cellulose endécanitrique (coton-poudre)	$C^{24}H^{29}O^{12}Az^{11}$	1143	+631,0
	Cellulose octonitrique (collodion)	$C^{24}H^{32}O^{36}Az^8$	1008	+706,0
Composés azotés	Cyanogène (gaz)	C^2Az^2	52	— 73,9
	Fulminate de mercure	$C^2HgO^2Az^2$	284	— 63,5
	Azotate de diazobenzol	$C^6H^5O^3Az^3$	167	— 45,6
	Acide picrique	$C^6H^3O^7Az^3$	229	+ 46,8
	Picrate d'ammoniaque	$C^6H^6O^7Az^4$	246	— 80,1
	Picrate de potasse	$C^6H^2KO^7Az^3$	267	+115,3
	Nitrobenzine	$C^6H^5O^2Az$	123	+ 4,0
	Binitrobenzine	$C^6H^4O^4Az^2$	168	+ 13,0
	Trinitrobenzine	$C^6H^3O^6Az^3$	213	+ 22,0
	Nitronaphtaline	$C^{10}H^7O^2Az$	173	— 14,7
	Binitronaphtaline	$C^{10}H^6O^4Az^2$	218	— 5,7
	Trinitronaphtaline	$C^{10}H^5O^6Az^3$	263	+ 3,3
	Cyanure de potassium	CAzK	65	— 29,4

Digitized by Google

Tableau III.

Chaleurs spécifiques (calories) rapportées aux équivalents (kilogrammes).

Noms.	Formules.	a.	$\frac{b}{2}$.
Gaz monoatomiques	Hg	3,0	»
Gaz diatomiques	(H^2, Az^2, O^2, CO)	4,8	0,001
Gaz triatomiques	(H^2O, CO^2, SO^2)	6,2	0,0025
Formène	CH^4	7,5	»
Carbonate de potasse	CO^3K^2	30,0	»
Carbonate de soude	CO^3Na^2	29,0	»
Sulfate de potasse	SO^4K^2	33,2	»
Sulfate de soude	SO^4Na^2	32,4	»
Sulfure de potassium	SK^2	17,8	»
Sulfure de sodium	SNa^2	17,8	»
Chlorure de potassium	KCl	12,9	»
Chlorure de sodium	NaCl	12,5	»
Cyanure de potassium	CAzK	10,5	»
Silice	SiO^2	11,4	»
Carbone amorphe (charbon de bois)	C	2,9	»

Tableau IV.

Volumes spécifiques (litres) rapportés aux équivalents (kilogrammes).

Noms.	Formules.	Volumes.
Carbonate de potasse	CO^3K^2	62
Carbonate de soude	CO^3Na^2	43
Sulfate de potasse	SO^4K^2	66
Sulfate de soude	SO^4Na^2	54
Sulfure de potassium	SK^2	37
Sulfure de sodium	SNa^2	26
Chlorure de potassium	KCl	38
Chlorure de sodium	NaCl	27
Cyanure de potassium	CAzK	43
Silice	SiO^2	23
Carbone amorphe (charbon de bois)	C	8

FIN DE LA PREMIÈRE PARTIE DU TOME VII.

Digitized by Google

Digitized by Google

DEUXIÈME PARTIE.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

Digitized by Google

Digitized by Google

FRANCE[1].

N° 160.

MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS.

DIRECTION DES CHEMINS DE FER.

TRANSPORT DE LA DYNAMITE.

Paris, le 18 juin 1892.

A MM. LES ADMINISTRATEURS DES COMPAGNIES DE CHEMINS DE FER.

Messieurs, le règlement du 10 janvier 1879, concernant le transport de la dynamite par chemins de fer, dispose (art. 3, § 5) que « le poids brut de la caisse ou du baril (de dynamite) ne dépassera pas 25^{kg} ».

La Société française des explosifs, en vue de favoriser notre commerce d'exportation, a demandé l'élévation à 30^{kg} de la limite de poids ci-dessus fixée.

Cette demande a été examinée par les divers services de contrôle, qui ont provoqué les observations des compagnies.

Il résulte de l'enquête à laquelle il a été procédé que la limite de 30^{kg} pour le poids brut des caisses de dynamite, acceptée sur les chemins de fer étrangers, serait sans inconvénient.

J'ai consulté également MM. les ministres de la guerre et des finances, cosignataires du règlement du 10 janvier 1879, qui se sont prononcés dans un sens favorable à la demande de la Société française des explosifs.

(1) Voir 1 *3, 2 *3, 3 *3, 4 *3, 5 *3 et 6 *3 les nos 1 à 159.

Digitized by Google

J'ai soumis ensuite l'affaire au Comité de l'exploitation technique des chemins de fer.

D'après l'avis du comité (section de contrôle), j'ai décidé qu'en attendant une refonte complète de l'arrêté ministériel précité du 10 janvier 1879, il y avait lieu d'autoriser les compagnies de chemins de fer à admettre dans les trains les caisses de dynamite dont le poids brut ne dépasserait pas 30^{kg}.

Je vous prie de vouloir bien m'accuser réception de la présente décision, dont je donne connaissance aux départements ministériels intéressés, aux préfets, aux inspecteurs généraux du contrôle et à la Société française des explosifs.

Recevez, Messieurs, l'assurance de ma considération très distinguée.

Le ministre des travaux publics,

VIETTE.

N° 161.

EXPLOSION SURVENUE, LE 21 SEPTEMBRE 1891, DANS LES DÉPOTS N^{os} 8 ET 12 DE LA POUDRERIE DE SAINT-MÉDARD.

(Lettre collective n° 10.)

Paris, le 29 juin 1892.

Messieurs, une explosion s'est produite à la poudrerie nationale de Saint-Médard, le 21 septembre 1891, à 6^{h}15^m du soir, vingt minutes environ après la sortie des ouvriers, dans le bâtiment n° 12, affecté au pesage du coton-poudre sec, et elle a déterminé, quelques instants plus tard, une seconde explosion dans le bâtiment n° 8, servant au dépôt dudit coton-poudre.

Ces explosions n'ont pas fait de victimes, mais elles ont causé des dégâts matériels très considérables : les bâtiments n^{os} 8 et 12 ont été complètement détruits; un grand nombre d'autres bâtiments ont subi des dommages dont l'importance varie avec la distance aux deux centres d'explosion.

Je vous adresse ci-joint, avec deux vues photographiques des lieux après les explosions, le rapport établi sur cet accident par

Digitized by Google

M. l'inspecteur général Maurouard, qui a fait l'enquête réglementaire.

Il ressort de ce document que l'explosion initiale, qui s'est produite dans le bâtiment n° 12 et a entraîné celle du bâtiment n° 8, est due à une décomposition du coton-poudre, et que cette explosion paraît avoir été déterminée par l'action, sur des parcelles de coton-poudre logées dans les interstices des charpentes ou du socle, de frottements produits par les déplacements relatifs de diverses parties du bâtiment; ces déplacements peuvent, d'ailleurs, être le résultat, soit de l'action du vent faisant glisser les semelles en bois sur le socle en pierre, soit des déformations des pièces de charpente causées par des variations de température ou d'état hygrométrique.

L'influence exercée par les frottements sur la stabilité des cotons-poudres secs a été mise en évidence dans diverses circonstances : à Saint-Médard même, lors de la remise en place du bâtiment n° 10 à la suite de l'explosion du 21 septembre, on a vu des parcelles de coton-poudre, restées sous la semelle en bois de ce bâtiment, prendre feu au moment où l'on faisait glisser cette semelle sur le socle pour la ramener à sa position primitive; au Laboratoire central, dans les expériences de M. l'ingénieur Vieille, dont rend compte le rapport de M. l'inspecteur général, on a constaté un abaissement considérable de l'épreuve de chaleur dans du coton-poudre normal, après qu'il avait été soumis à des frottements répétés; enfin, dans les poudreries, on a signalé une diminution notable de la résistance à l'épreuve pour des balayures de coton-poudre sec recueillies en divers points des usines et ateliers, et notamment dans les couloirs ou galeries servant de passage aux ouvriers.

Il importe donc de prendre des précautions spéciales pour prévenir les accidents dus à la décomposition du coton-poudre par les frottements, et j'invite les directeurs des établissements à appliquer les dispositions suivantes aux bâtiments affectés à la manutention ou à la conservation du coton-poudre sec :

1° Dans les bâtiments existants, construits avec ossature en bois et cloisons légères, les charpentes seront rattachées au socle, de manière à assurer leur fixité; les parois en toiles seront remplacées par des cloisons en agglomérés de liège, revêtues, à l'inté-

Digitized by Google

rieur, d'un enduit en plâtre continu et relié par un solin à l'aire constituant le sol du bâtiment. Jusqu'à ce que ce remplacement soit effectué, tous les interstices existant, soit entre les semelles et le socle, soit entre les diverses pièces de la charpente, seront garnis d'un mastic gras, qui sera fréquemment vérifié et bien entretenu, de manière à obturer tous les joints.

2° Dans les constructions neuves, on adoptera des charpentes métalliques solidement reliées aux fondations, des cloisons ou remplissages en agglomérés de liège; et une couverture en ardoises métalliques de grandes dimensions, sous laquelle sera établi un plafond en agglomérés de liège; les cloisons et le plafond seront recouverts d'un enduit ininterrompu en plâtre, l'aire sera faite en bitume ou en ciment et recouverte de linoléum ou de caoutchouc souple.

3° Les bâtiments à coton-poudre et leurs abords seront nettoyés avec le plus grand soin et arrosés, au moins une fois par semaine, assez abondamment pour assurer l'entraînement du coton-poudre ou tout au moins pour mouiller les parcelles qui auraient pu échapper au nettoyage.

Ces mesures, qui ont pour but de préserver le coton-poudre des actions extérieures capables d'altérer sa stabilité, compléteront celles qui ont été prises, dans la fabrication et dans le mode d'emploi, pour assurer et conserver cette stabilité, et qui ont donné jusqu'ici des résultats satisfaisants.

M. l'inspecteur général a, en effet, dans son rapport, nettement rejeté l'hypothèse qui attribuerait l'accident du 21 septembre à une décomposition provenant du manque de stabilité du coton-poudre en cours d'emploi, et il a conclu, de l'ensemble des essais exécutés sur le mélange même dans lequel avait été prélevé le coton-poudre contenu dans le bâtiment n° 12, que cette matière avait conservé la stabilité normale que constatent les épreuves exécutées dans les établissements de production ainsi que les épreuves de contrôle faites par le Laboratoire central. Les précautions prises dans le séchage et dans l'emploi du coton-poudre sec ne permettent d'ailleurs pas d'admettre qu'une décomposition spontanée aurait commencé au séchoir et se serait poursuivie lentement jusqu'à production de l'explosion, attendu que cette décomposition lente aurait donné lieu à une émission de vapeurs

Digitized by Google

nitreuses avec dégagement de chaleur que les ouvriers n'auraient pas manqué de reconnaître au cours des opérations de transvasement et de pesage, faites sur le coton-poudre après la sortie du séchoir et avant son emploi en composition.

Je n'ai donc à prescrire aucune précaution nouvelle en ce qui concerne la fabrication ou le mode d'emploi du coton-poudre; il peut toutefois être utile de faire observer qu'il n'est pas nécessaire de pousser le séchage de cette matière jusqu'à sa limite extrême : le coton-poudre sec reprend très promptement, dans les conditions habituelles de sa conservation, un taux d'humidité de 1 pour 100 à 2 pour 100 qui ne nuit point à son emploi dans la fabrication des poudres; il convient donc, pour diminuer la durée de l'exposition du coton-poudre à la chaleur, de décharger le séchoir dès que la matière a été ramenée à environ 1 pour 100 d'humidité.

Vous voudrez bien, Messieurs, m'accuser réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

RAPPORT

sur les explosions survenues, le 21 septembre 1891, dans les dépots nos 8 et 12 de la poudrerie nationale de Saint-Médard.

Le 21 septembre 1891, à $6^h 15^m$ du soir, vingt minutes environ après la sortie du personnel, les bâtiments nos 8 et 12 de la rive droite ont fait explosion à la poudrerie nationale de Saint-Médard.

Les dégâts matériels sont considérables; les bâtiments 8 et 12 ont été rasés et un grand nombre d'autres bâtiments plus ou moins sérieusement endommagés; mais, plus heureux que lors de l'explosion du dépôt n° 3 du 5 juillet 1887, qui avait fait trois victimes, l'établissement n'a eu aucun accident de personne à déplorer.

Le dépôt n° 10, qui se trouve entre les deux autres, n'a pas participé à l'explosion.

État des lieux avant l'accident. — Les dépôts nos 8 et 12 étaient conformes au type adopté pour les bâtiments à poudre édifiés depuis la dernière extension de la poudrerie, en 1886 : socle en pierre de taille, charpente légère Pombla, couverture surbaissée en carton bitumé sur

Digitized by Google

voligeage jointif, dallage en ciment recouvert d'un tapis en linoléum, parois verticales formées par une double toile en moleskine blanche à l'intérieur, et en toile verte hystasape à l'extérieur, lesdites toiles clouées sur les pièces de bois de la charpente et laissant ainsi entre elles un vide égal à l'épaisseur de cette dernière ($0^m,11$).

Constitués d'abord par 3 travées de 3^m, sur une largeur de 6^m, ils avaient été, en 1887, pour les besoins de la fabrication, doublés de longueur; la façade nord avait alors reçu 6 ouvertures (2 portes et 4 fenêtres), indépendamment de 2 fenêtres existant dans chaque pignon, dans le triangle supérieur duquel les toiles avaient, en outre, pour la permanence de l'aérage, été remplacées par des persiennes fixes en bois. Les portes avaient des seuils en bois, précédés de décrottoirs également en bois; l'axe de la voie ferrée, de $0^m,50$, passait à $1^m,50$ du parement extérieur du socle et à $1^m,25$ de l'arête du seuil en bois.

En raison de son rapprochement (140^m) du bâtiment 1, importante habitation communément désignée dans le pays sous le nom de *Château-Eyquem*, et en partie affectée au logement de l'ingénieur, et malgré la protection qu'apportait à cette habitation l'interposition d'un épais massif d'arbres de la plus grande venue, le bâtiment 12 avait été entouré sur trois côtés d'un merlon d'environ 4^m de hauteur, soutenu à l'intérieur par des barillages superposés, dans des conditions qui devaient présenter un obstacle sérieux à la projection des débris.

Le bâtiment n° 8 renfermait du coton-poudre n° 1, provenant des séchoirs; au moment de l'explosion, il y avait dans ce bâtiment 735^{kg} environ de coton-poudre sec, contenus dans 49 barils, dont 24 se trouvaient dans l'angle ouest et 25 dans l'angle nord.

Le bâtiment n° 12 était affecté à la préparation des charges du coton-poudre n° 1; au moment de l'explosion, il renfermait 494^{kg} environ de coton-poudre sec, contenus dans 40 sacs qui se trouvaient du côté de l'angle sud-est du bâtiment.

Le coton-poudre n° 1 est séché par quantités de 1000^{kg} environ.

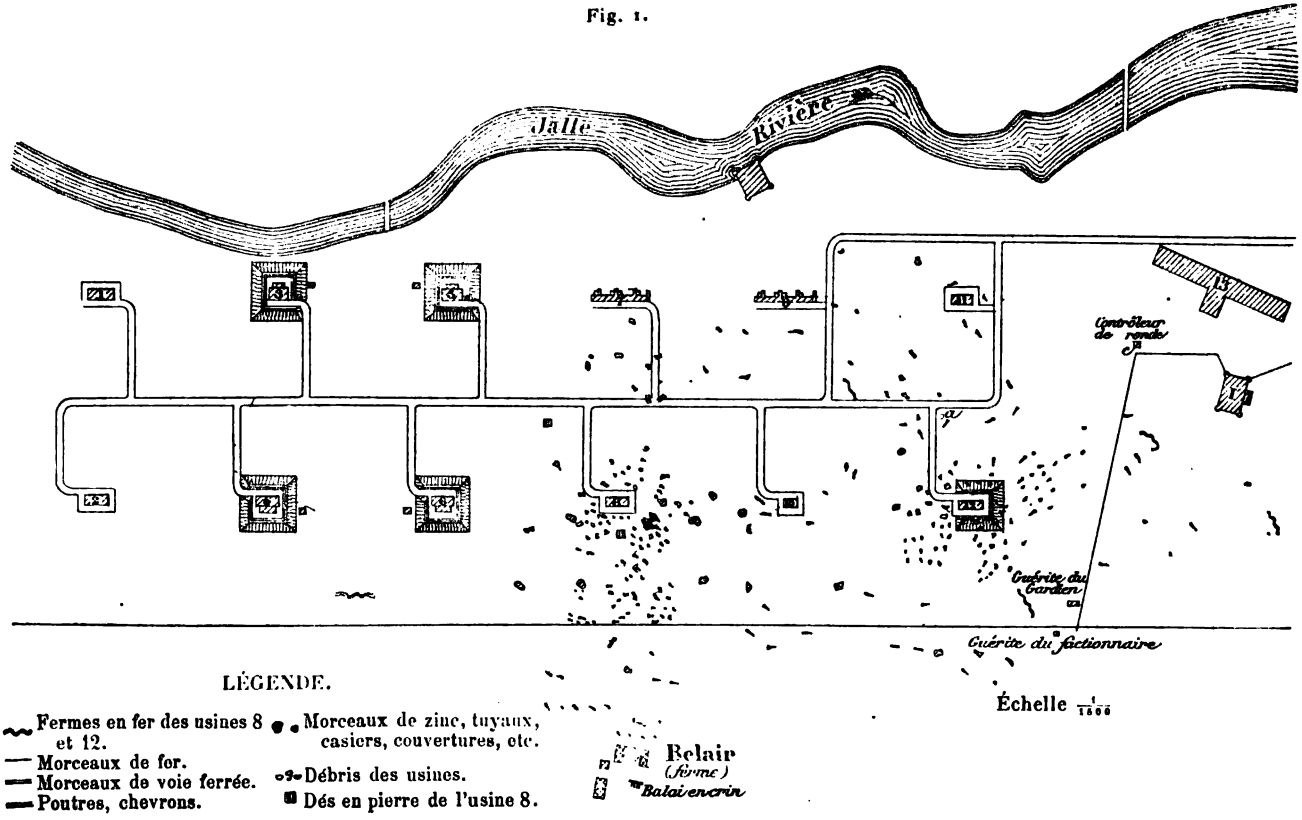
Chaque séchée est contenue dans 270 casiers, qui, lors du déchargement des séchoirs, sont disposés dans 7 wagonnets (6 reçoivent 39 casiers, le dernier 36).

La séchée est transportée, partie au dépôt n° 8 et partie au dépôt n° 10; chacun d'eux reçoit alternativement le contenu de 4 ou 3 wagonnets.

A leur arrivée, les casiers sont reçus par l'auxiliaire Matha dans le dépôt n° 8, et par l'auxiliaire Petit dans le dépôt n° 10, sous la surveillance du chef d'équipe Audron. Ces trois auxiliaires sont des ouvriers âgés, anciens, particulièrement soigneux et prudents : c'est en raison même de ces qua-

Digitized by Google

Fig. 1.



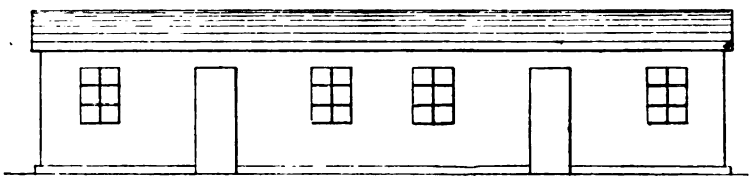
Digitized by Google

lités qu'ils ont été précisément chargés de la manipulation du coton-poudre sec.

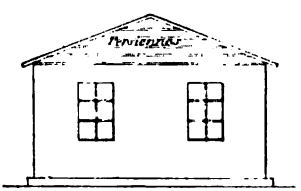
Les casiers, à leur arrivée dans les bâtiments 8 et 10, sont déposés, par

FAÇADE ET PIGNON DES BATIMENTS N^{os} 8 ET 12.

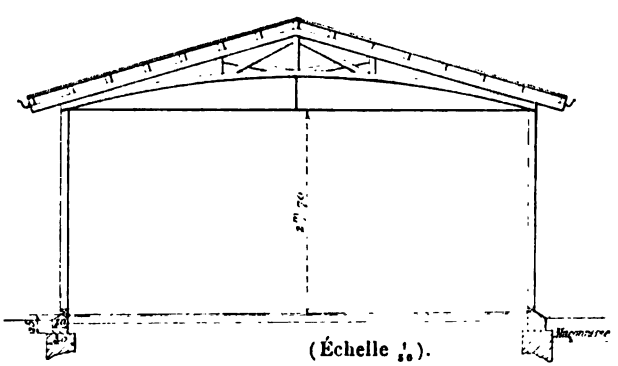
Fig. 2.



(Échelle $\frac{1}{100}$).



Coupe transversale.



(Échelle $\frac{1}{50}$).

charge de wagon, sur le tapis en linoléum qui couvre le dallage en ciment, et empilés par couches croisées de deux.

Les ouvriers procèdent ensuite, chacun dans son dépôt, à la vidange des casiers dans les maies, puis au remplissage des barils à main, destinés à la composition.

Toutes ces opérations se font avec la plus grande prudence. Les voies

Digitized by Google

ferrées et les abords des bâtiments sont tenus dans un état constant d'humidité. Les wagons arrivent isolément aux dépôts; au moment de l'arrivée d'un wagon devant un dépôt, on arrose la voie ferrée devant le bâtiment et la grille-décrottoir placée devant l'entrée. On étend un drap sur le seuil et sur la grille-décrottoir, et l'on procède au déchargement et à l'empilage des casiers, en évitant tout choc. On fait de même pour remettre en piles les casiers après leur vidange.

Le coton-poudre mis en barils (1 baril contient 14^{kg} à 15^{kg} de matière) est porté au bâtiment n° 12, au fur et à mesure des besoins, par wagons de 10 barils. Les précautions indiquées ci-dessus sont prises pour le chargement et le déchargement des barils. A leur arrivée devant le dépôt 12, les barils sont vidés un à un dans une maie par l'ouvrier qui les a apportés, et immédiatement retournés au dépôt d'où ils proviennent, de façon que le dépôt 12 ne renferme jamais de barillages, même vides.

Les charges destinées à la fabrication de la poudre sont pesées par le poudrier Dugrava, ouvrier ancien et très soigneux, habitué depuis longtemps à la manipulation des explosifs (cet ouvrier a été grièvement blessé, le 12 mars 1873, par une explosion au laboratoire où il aidait aux expériences préliminaires que nécessitait alors la fabrication de la dynamite). On prend les précautions les plus minutieuses pour éviter tout choc dans les manipulations, tant à l'extérieur qu'à l'intérieur du dépôt. Les mouvements à l'extérieur sont réglés comme il a été dit plus haut; à l'intérieur, on procède à la vidange des barils, en évitant tout choc, et, par surcroît de précaution, le fond de la maie en bois, dans laquelle l'ouvrier puise le coton-poudre avec une pelle en bois, est, comme le sol du bâtiment, garni de linoléum.

Circonstances de l'explosion. — Les trois ouvriers Matha, Petit et Dugrava, chargés du service des dépôts 8, 10 et 12, avaient, dans la journée, procédé au nettoyage réglementaire du lundi et, avant la cessation du travail, ils avaient, comme d'habitude, balayé leurs ateliers respectifs, fermé les portes au cadenas, et arrosé les grilles-décrottoirs et la voie ferrée jusqu'à la borne-fontaine qui se trouve en a, au tournant du chemin d'accès. Ils avaient alors reçu une dernière visite de leur chef d'équipe Audron, qui s'était assuré que ces diverses précautions avaient été bien observées; puis, au coup de cloche de $5^h 55^m$, ils s'étaient dirigés vers la cour d'entrée, ainsi que le chef poudrier Maynard, spécialement chargé de la conduite des opérations du coton-poudre sec. Ces différents agents, sortis de la poudrerie vers 6^h, après avoir subi le contrôle réglementaire parfaitement organisé, se dirigeaient vers leurs domiciles respectifs, ou y étaient déjà arrivés, lorsqu'ils perçurent, à quelques secondes d'intervalle, deux lueurs qu'ils prirent pour deux éclairs, et qui furent bientôt suivies

Digitized by Google

de deux détonations très fortes. Aucun d'eux ne put, dans ces conditions, se rendre exactement compte de l'origine des explosions.

Mais il a été possible d'avoir à cet égard des renseignements plus précis, auprès de quelques autres agents que leur service avait retenus à la poudrerie.

C'est d'abord le soldat Bellot (Pierre), qui, étant de planton sur le chemin de ronde de la rive droite, se tenait appuyé contre la guérite *b* placée sur ce chemin, en face et à 70^{m} environ de distance du bâtiment n° 12, masqué toutefois par le bois et surtout par le merlon latéral. Cet homme, dans cette position, était précisément tourné vers le bâtiment en question quand il vit devant lui une immense flamme, qui fut aussitôt suivie d'une violente détonation. Il fut projeté, puis renversé, à une dizaine de mètres, dans le bois, et, au même moment, une pluie de projectiles s'abattit autour de lui, et une tringle en fer passa auprès de lui en sifflant. Il se relevait intact, quand une seconde explosion se produisit à gauche, en un point dont il ne se rendit pas exactement compte.

Du côté opposé du bâtiment 12, dont il était séparé par un espace d'environ 120^{m} garni de très grands arbres, le garde intérieur de la rive droite, Montel, se trouvait également arrêté, appuyé sur la tablette supérieure du contrôleur de rondes *c*. Celui-ci tournait le dos au dépôt 12, quand il perçut une vive lueur, immédiatement suivie d'une explosion; il crut à un coup de tonnerre et voulut s'abriter derrière le tronc d'un gros marronnier voisin; il avait à peine franchi l'intervalle d'une dizaine de mètres qui l'en séparait, quand survint la seconde explosion. Il ne se rendit d'ailleurs, sans doute à cause de la végétation puissante interposée, qu'imparfaitement compte des circonstances de cette double explosion.

Le garde intérieur de la rive gauche, le sieur Audebert, se trouvait vers l'extrémité est de cette partie de la poudrerie; il a entendu nettement deux détonations, dont la seconde était la plus forte, et n'a pas cru à un coup de tonnerre.

Le chauffeur Blondel et le mécanicien Pauly, de service dans le bâtiment des dynamos, à une distance d'environ 225^{m}, ne peuvent donner de renseignements bien précis. Le premier a cru d'abord que c'était le dôme d'une de ses chaudières qui sautait; puis, étant sorti, il a vu la seconde explosion se produire dans la direction du bâtiment 8. Mais l'auxiliaire Castaing, de service aux séchoirs de la rive gauche, qui se trouvait, près de la dynamo du séchoir 19, sur un point élevé et découvert, n'a eu qu'à élever les yeux, en sentant l'ébranlement du sol, pour bien voir, d'abord du côté du château, une grande flamme immédiatement suivie d'une détonation, et, peu d'instants après, plus à l'ouest, une seconde flamme suivie d'une autre détonation, qui lui parut plus forte que la première.

Digitized by Google

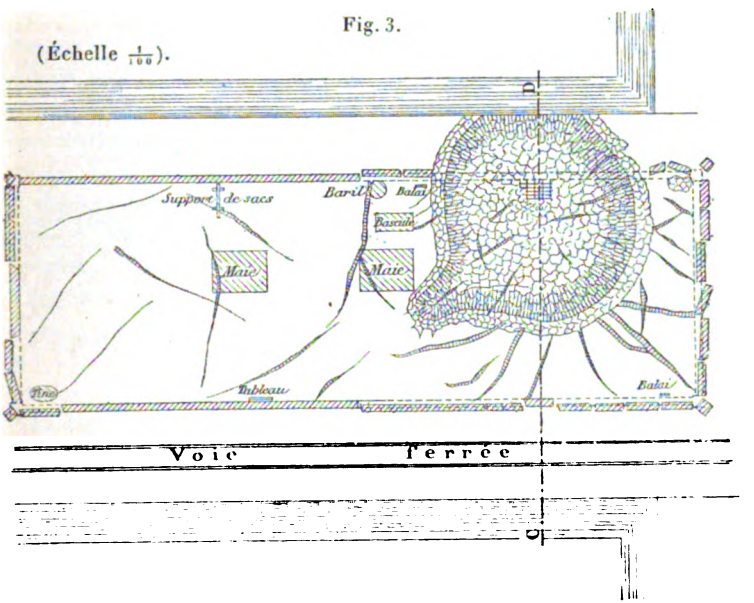
Cette dernière déposition vient donc confirmer celle du soldat Bellot, en ce qui concerne l'ordre de succession des deux explosions, et c'est bien l'explosion du bâtiment 12 qui s'est produite la première et a déterminé celle du bâtiment 8. Du reste, l'examen des lieux après l'accident viendra corroborer cette opinion.

Effets de l'explosion. — Les deux dépôts ont été complètement rasés ; les débris de la charpente, des menuiseries, de la couverture et de la voie

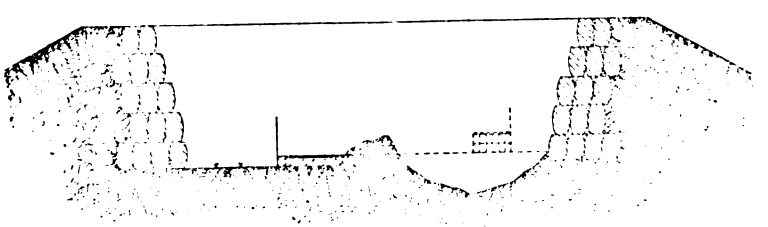
COMPOSITION DU N° 12, APRÈS L'EXPLOSION.

Plan.

Fig. 3.



Coupe suivant CD.



ferrée ont été projetés sur un espace considérable. Des tirants de fermes en fer rond, de 6^{m},50 de long, ont été retrouvés tordus, l'un derrière les

Digitized by Google

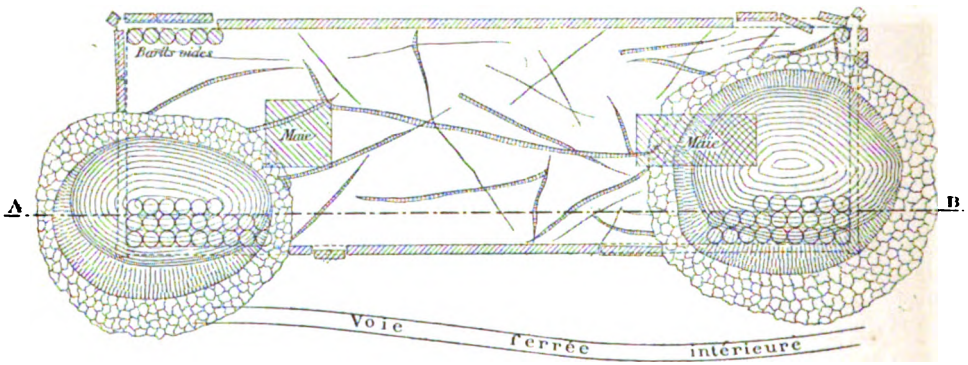
séchoirs 4 et 6, à 150m du bâtiment 8, deux autres autour du bâtiment 1, à 100m et 190m du bâtiment 12, le dernier enfoncé sur toute sa longueur de 0m,09 dans le sol.

De légers débris de bois, de toile et de carton bitumé, ont été retrouvés sur la route de Corbiac, à une distance d'environ 1050m du même bâtiment.

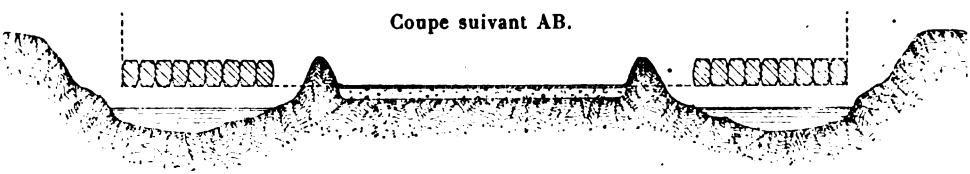
DÉPÔT N° 8, APRÈS L'EXPLOSION.

Plan.

Fig. 4. (Échelle $\frac{1}{100}$).



Coupe suivant AB.



Les socles des bâtiments ont été disjoints, plusieurs pierres projetées et d'autres pulvérisées.

A l'angle sud du bâtiment n° 12, il s'est formé dans le sol une dépression, de forme sensiblement circulaire, de 6m environ de diamètre et 1m de profondeur, dont le centre est à peu près à l'endroit où se trouvaient les charges de coton-poudre.

Il existe deux dépressions analogues vers les angles nord et ouest du bâtiment n° 8; la première, de forme elliptique, mesure environ 6m et 7m suivant le petit et le grand axe; la deuxième, à peu près circulaire, a environ 7m de diamètre; toutes deux ont environ 1m,20 de profondeur.

Dans ces dépressions, on retrouve les morceaux de dallage en ciment et de l'aire en béton sous-jacente, qui se sont affaissés sous la pression des

Digitized by Google

gaz et n'ont pas été projetés par l'explosion; le sol semble avoir reçu un énorme coup de marteau-pilon.

Les parties qui subsistent des dallages en ciment présentent de nombreuses cassures.

Des tapis en linoléum, une partie a été projetée, et une partie est restée isolée sur les lieux de l'explosion; les morceaux qu'on retrouve ont généralement résisté aux effets des gaz, et quelques-uns sont complètement intacts.

Quant aux sacs vides en jute, qui se trouvaient dans le dépôt n° 12, on en a retrouvé un assez grand nombre présentant de fortes traces de combustion; beaucoup étaient presque complètement intacts.

Devant le dépôt n° 8, la voie ferrée a été tordue et déplacée sur une longueur de 25^m; une partie a été brisée et projetée au loin; deux morceaux de $0^m,70$ de longueur ont été retrouvés à une distance d'environ 60^m du bâtiment.

Autour des bâtiments qui ont fait explosion, les feuilles des arbres ont été hachées et pulvérisées, leurs écorces criblées de petits projectiles et parfois complètement enlevées; plusieurs arbres ont été décapités; la tête de l'un d'eux, morceau de $2^m,50$ de long et de $0^m,20$ de diamètre, projetée à 8^m du tronc.

Les effets de l'explosion se sont fait sentir sur la plupart des autres bâtiments de la poudrerie, et même sur les maisons particulières de Saint-Médard à une distance assez considérable.

Le dépôt n° 10, situé sur la ligne des dépôts 8 et 12, au milieu et à 100^m de chacun d'eux, a relativement peu souffert (1). Sur les pignons, les vitres ont été brisées et les toiles arrachées; mais, sur les deux faces nord et sud, rien n'a été endommagé, et la toiture n'a pas souffert. Circonstance à noter : les vitres du pignon est, qui regarde le dépôt n° 12, ont été projetées à l'intérieur du bâtiment, et celles du pignon ouest l'ont été du côté opposé, à l'extérieur, vers le dépôt n° 8.

Les bâtiments de la rive droite, situés dans le voisinage des dépôts qui ont fait explosion, ont éprouvé les mêmes dommages, à des degrés de gravité plus ou moins grands. Dans plusieurs d'entre eux, une face tout entière est déjetée, de telle sorte que la semelle est en saillie de plusieurs centimètres sur la murette. Les cloisons en toile sont en partie arrachées avec leurs liteaux; quelques sablières et montants ont été rompus; un grand nombre de carreaux brisés, plusieurs toitures endommagées.

Sur la rive gauche, les bâtiments, en raison de leur éloignement des lieux

---

(1) Ce bâtiment contenait, au moment de l'explosion, environ 200 kilogrammes de coton-poudre sec.

Digitized by Google

de l'explosion, ont moins souffert, et les dégâts se bornent généralement à des vitres brisées. Cependant les devantures des bâtiments 37 et 38 ont éprouvé des dommages assez sérieux.

La couverture en serge de l'un d'eux, le bâtiment n° 37, est à remplacer. Au dépôt n° 23, construit en briques, toute la façade sud du bâtiment est à refaire.

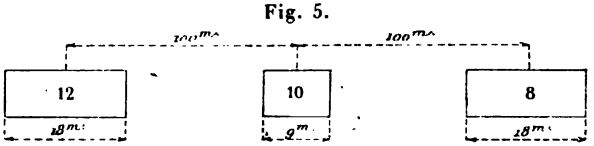
La bâtiment 1 (logement de l'ingénieur), situé à 140^{m} du dépôt 12, a beaucoup souffert, bien que les effets de l'explosion aient dû être atténués par le merlon qui entourait le dépôt. La toiture est à refaire, les souches des cheminées sont tombées, les vitres et un certain nombre de portes et de fenêtres sont brisées. Les cloisons en briques ont résisté d'autant moins facilement à l'explosion qu'elles étaient construites sans poteaux d'huisserie; presque toutes sont à refaire, ainsi que les plafonds (1).

La ferme du Bel-Air, située en face et à 120^{m} seulement du dépôt 8, a été assez violemment secouée pour que des portes solides, parmi lesquelles une porte intérieure, aient été enfoncées.

Même dans le village, dont les premières maisons sont à une distance de 800^{m}, un certain nombre d'habitations particulières ont éprouvé des dégâts qui ont consisté, en général, en vitres et en objets mobiliers brisés, en décollement de cloisons et de plafonds, en chute d'enduits et parfois même de cloisons; exceptionnellement des murs épais ont été fissurés (2).

Causes de l'explosion. — Il a été nettement établi ci-dessus que c'est le dépôt 12 (*fig.* 5), dans lequel se préparaient les charges de coton-poudre,

Fig. 5.



qui a fait explosion le premier : les dépositions du planton Bellot et du poudrier Castaing, parfaitement placés l'un et l'autre pour suivre les phases de l'accident, et, d'un autre côté, l'effet produit sur les pignons du dépôt 10 ne laissent pas de doute à cet égard; quant à l'explosion subsé-

(1) Le bâtiment avait déjà eu beaucoup à souffrir des précédentes explosions, et en particulier de celle de l'usine ternaire survenue le 6 mai 1885, à la suite de laquelle le propriétaire avait préféré faire l'économie de la plus grande partie de l'indemnité qui lui avait été attribuée.

(2) Le bruit de l'explosion a été entendu par le Dr Eyquem, médecin de la Poudrerie, qui se trouvait en ce moment à Cadanjac, à 21 kilomètres environ de Saint-Médard, à vol d'oiseau.

Digitized by Google

quente du dépôt n° 8, elle a dû être déterminée par la chute d'un débris, sans doute d'un débris de ferme métallique, tel que ceux mentionnés ci-dessus, qui ont été retrouvés enfoncés dans le sol à des distances de 100^{m} et 190^{m}. On comprend, en effet, qu'un projectile d'un poids relativement considérable, animé d'une vitesse notable (même en admettant qu'il ne soit pas tombé de plein fouet), ait pu crever soit les parois en toile, soit la couverture en voliges et carton bitumé, et ait déterminé par sa chute l'explosion du coton-poudre sec contenu dans le dépôt.

En ce qui concerne la cause première de l'explosion du dépôt 12, on est réduit à des conjectures, qui vont être successivement examinées, et ne peuvent, dans les circonstances de l'accident, porter que sur les points suivants :

A. Malveillance;
B. Action physique extérieure : choc, incendie, décharge électrique, vent, etc.;
C. Décomposition spontanée de l'explosif.

A. *Malveillance.* — La malveillance avait-elle des raisons de s'exercer et la possibilité de le faire? Étant donnée la bienveillance extrême des chefs de la poudrerie envers leurs subordonnés, un attentat tel que celui que nous visons n'aurait pu être inspiré que par l'impatience d'une discipline exceptionnellement rigoureuse; mais le service des poudres n'en est pas à voir un crime de cette nature, tenté sans autre raison que celle de *jouer un tour.* L'absence de motif connu (1) ne nous empêchera donc pas de passer à l'examen de la seconde question, celle de la possibilité de l'exécution.

Pour faire, sans trop de danger, sauter le dépôt après sa fermeture, il eût fallu que, sans être vu, le malfaiteur, en possession d'une mèche spéciale préparée à l'avance, s'introduisît à l'intérieur du merlon qui entoure le bâtiment, qu'il plaçât cette mèche dans un trou percé à travers la double toile constituant une des parois, qu'il allumât cette mèche et se sauvât précipitamment. Or, toutes ces conditions semblent bien difficiles à remplir de jour, dans le court intervalle de vingt minutes qui s'est écoulé entre le départ des ouvriers et l'explosion, et avec les précautions rigoureuses prises pour assurer à la fois la sécurité du travail et le secret des opérations de la fabrication.

Parmi ces précautions, nous signalerons notamment la répartition du personnel en un certain nombre d'équipes, qui ont toujours le même chef,

(1) Bien que la poudrerie de Saint-Médard-en-Jalles soit un des établissements français que leur participation à la fabrication des nouveaux explosifs a exposés, depuis quelques années, à des tentatives d'espionnage et de vol, nous nous refusons à croire, jusqu'à preuve contraire, à la main de l'étranger dans une explosion qui pouvait, sans profit pour lui, compromettre des existences humaines.

Digitized by Google

la même composition, la même affectation et la même zone de circulation, équipes qui se forment à l'aller et se séparent au retour dans la cour d'entrée, de façon que chaque ouvrier ne connaît que la partie de l'établissement où il travaille et l'opération à laquelle il est affecté. Les ouvriers de l'atelier de réparations ne peuvent eux-mêmes, sans un ordre spécial, pénétrer dans l'enceinte réservée à la fabrication. Des fouilles effectives, opérées tant à l'arrivée qu'au départ, et un gardiennage rigoureusement exercé de jour et de nuit, tant à l'intérieur qu'à l'extérieur, viennent, en outre, créer d'autres obstacles à la malveillance. Dans ces conditions, il semble à peu près inadmissible qu'un homme évidemment étranger à l'équipe des séchoirs à coton-poudre, ait pu, dans le court intervalle qui s'est écoulé depuis le coup de cloche de sortie, trompant la surveillance du planton extérieur, qui se trouvait précisément en face du bâtiment sinistré et du gardien intérieur, qui arrivait du côté opposé, s'introduire auprès de ce bâtiment avec les engins nécessaires et y perpétrer un mauvais coup, qui l'eût exposé à la mort pour la misérable satisfaction de quelques dégâts matériels.

B. *Action physique extérieure.* — La chute d'un corps lourd à l'intérieur du bâtiment était impossible, puisqu'il n'y avait, avec la maie reposant sur ses quatre pieds, que des sacs, à l'exclusion des barils qui n'y séjournaient jamais.

A l'extérieur, la chute d'une forte branche sur la toiture, qu'elle eût crevée, n'a pas dû se produire, attendu qu'il n'existe, sur les troncs des grands arbres voisins, aucune trace de cassure qui ne provienne pas manifestement de l'explosion elle-même.

Le bois voisin étant souvent parcouru par des chasseurs, il était naturel de se demander si l'accident n'avait pas été déterminé par un coup de fusil tiré dans ce bois; mais le bâtiment, protégé jusqu'à la hauteur du faîte par son merlon, ne pouvait être atteint qu'indirectement; et puis, le soldat de planton sur le chemin de ronde eût certainement aperçu le tireur ou, du moins, entendu le bruit de la détonation de l'arme à feu.

L'hypothèse d'un incendie n'est pas plus admissible : il n'y avait de feu que dans les foyers des générateurs du bâtiment x; or, ce bâtiment se trouve à une distance de 400^{m}, et il pleuvait à verse.

Les arbres voisins, très élevés au-dessus du dépôt, l'eussent protégé contre la foudre, ou tout au moins contre l'éclair fulgurant.

Quant à l'éclair en boule, nous avons des données trop vagues sur les circonstances dans lesquelles il se produit pour pouvoir catégoriquement nier son existence dans le cas actuel (1).

(1) Rappelons que le cyclone qui s'est récemment abattu sur la Martinique a été accompagné de phénomènes de foudre globulaire.

Digitized by Google

Le bulletin météorologique, ci-après, de la journée du 21 septembre, relevé par le chimiste de l'établissement et confirmé par les dires des agents qui se trouvaient dehors au moment de l'explosion, ne laisse pas d'ailleurs supposer que l'ondée qui tombait alors fût accompagnée de phénomènes orageux :

Température minima.....		+ 11°
Température maxima.....	à l'ombre.....	+ 22°
	au soleil.....	+ 30°
Température barométrique.	le matin.....	764mm
	le soir.....	763mm

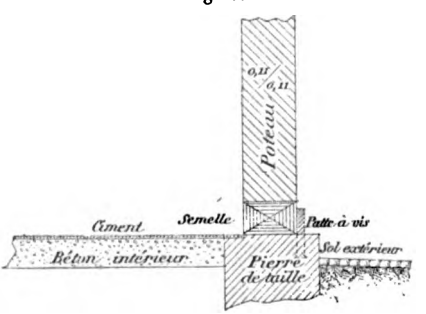
Averses.

Le temps avait été orageux pendant la journée; à la fin de la journée, il était complètement couvert et il tombait une pluie assez forte, mais sans orage ni éclair.

Le bulletin ci-dessus ne donne pas la vitesse du vent au moment de l'explosion; mais celui-ci ne paraît pas avoir été bien violent, de même que la pluie ne devait pas être bien abondante, puisque le soldat de planton n'était pas entré dans la guérite, que les gardiens intérieurs ne s'étaient pas mis à l'abri, et que, dans le village, des ouvriers rentrant chez eux étaient restés sur le pas de leur porte.

On a fait remarquer toutefois que les poussières de coton-poudre, logées dans les assemblages de la charpente ou entre les semelles en bois et le soubassement en pierre, avaient pu, par suite du manque de solidité et

Fig. 6.



de fixité des assemblages sous l'action du vent, être soumises à des frottements, qui, malgré le peu d'amplitude des déplacements, pouvaient suffire pour déterminer l'inflammation; un fait s'est, en effet, précisément produit à Saint-Médard même, lors de la remise en place de la charpente du bâtiment n° 10, déplacée par l'explosion : quelques parcelles de coton-poudre qui restaient sous la semelle (*fig.* 6) ont pris feu.

Digitized by Google

Cette remarque présente un réel intérêt : le vent ne peut, en effet, manquer d'avoir une large prise, par leurs toits et leurs parois, sur ces légers bâtiments en toile, et, d'un autre côté, les poussières qui s'introduisent nécessairement dans les joints de la charpente, et surtout sous les semelles, sont d'autant plus sujettes à l'inflammation que, soumises en ces points inaccessibles à la balayette, pendant une période de temps plus ou moins longue, à de fortes variations de température (1) et sans doute aussi à des frottements plus ou moins énergiques, elles ont dû perdre leur stabilité première.

Mais c'est là une hypothèse de décomposition du coton-poudre qui trouvera naturellement sa place à l'article suivant. Nous aurions désiré seulement, avant de passer outre, établir si l'état de l'atmosphère, dans la soirée du 21 septembre, était tel que l'accident eût plus de raisons de se produire à ce moment qu'à tout autre; mais les observations recueillies à l'établissement n'ont malheureusement pu nous fournir à cet égard aucun renseignement précis.

C. *Décomposition spontanée de l'explosif.* — Le coton-poudre employé à la poudrerie de Saint-Médard provient de la poudrerie d'Angoulême, d'où il est expédié par lots d'importance variable (généralement de 1600^{kg} à 2000^{kg}). Chaque lot porte un numéro, et la poudrerie d'origine envoie en même temps un bulletin indiquant les résultats des épreuves auxquelles il a été soumis (épreuves d'azote, de solubilité, de chaleur, de finesse, de résistance et d'humidité).

Quand un lot arrive à la poudrerie de Saint-Médard, on prélève sur un certain nombre de barils une petite quantité de matière et l'on soumet cet échantillon moyen à une nouvelle épreuve de chaleur. On dose en même temps la solubilité et l'azote du coton-poudre. On classe les lots suivant leur teneur en azote et selon la nature de la poudre que l'on a à fabriquer: on associe ensemble les lots semblables, soit forts, soit faibles en azote, afin d'avoir un mélange sensiblement homogène et d'une certaine importance, qui permette de conduire la fabrication d'une façon régulière.

Le lot de coton-poudre n° 1 employé au moment de l'explosion était formé d'un mélange, aussi homogène que possible, des lots d'Angoulême portant les numéros 148, 149, 150 et 151, arrivés à la poudrerie de Saint-Médard : le n° 148, le 10 juillet et, les trois autres, le 17 du même mois.

Les résultats des épreuves de chaleur à 60° et de résistance à 110°, opé-

(1) Depuis le 1er janvier 1891, la plus basse température a été de — 15° centigrades, et la plus haute de + 45° à l'ombre et + 62° au soleil.

Digitized by Google

rées d'abord à la poudrerie d'origine avant l'expédition, puis à la poudrerie destinataire après la réception, avaient été les suivants :

DÉSIGNATION DES LOTS.	ANGOULÊME.		SAINT-MÉDARD.	
	Chaleur.	Résistance.	Chaleur.	Résistance.
	m	h m	m s	
CP_1, n° 148.....	20	8. 0 rouge	22,00	»
» 149.....	20	8.30 rosé	20,00	»
» 150.....	20	8.25 violacé	19,45	»
» 151.....	20	8.25 rouge	19,45	»

Après l'explosion, on a repris, pour en apprécier l'état de conservation, de nouveaux échantillons dans les chapes restant des mêmes lots et l'on a prélevé en même temps d'autres échantillons sur le coton-poudre existant dans le dépôt n° 10 et le séchoir n° 6 et provenant, comme celui qui a détoné dans les dépôts 8 et 12, du mélange de ces quatre lots, mélange qui avait reçu, dans la série des matières successivement entrées en fabrication dans l'année courante, la désignation G_{11}.

Ces divers échantillons, soumis aux épreuves de chaleur et de résistance, d'abord à la poudrerie de Saint-Médard, puis au Laboratoire central par les soins de M. Vieille, ont donné les résultats suivants :

DÉSIGNATION DES LOTS.	SAINT-MÉDARD.		LABORATOIRE CENTRAL.	
	Chaleur.	Résistance.	Chaleur.	Résistance.
	m	h m	m	h m
CP_1, n° 148.....	19 et 20	5.30 rosé	> 20	10.00 rouge
» 149.....	12 et 14	4.30 rosé	> 20	8.30 rouge
» 150.	17 et 14	4.00 rosé	> 20	8.10 rouge
» 151.....	20 et 20	5.00 rosé	> 20	8.10 rouge
Mélange G_{11} (dépôt 10) (1)	18 et 21	7.00 rose	> 20	8.00 rouge
	18 et 16	4.30 rosé		
	18 et 14	5.30 rosé		
Mélange G_{11} (dépôt 6)...	15 et 20	3.30 rosé	> 20	10.00 rouge
	15 et 16	5.00 rosé		
	10 et 19	6.00 rosé		

(1) Épreuves répétées à Saint-Médard sur 3 échantillons pour chacun des deux bâtiments.

Digitized by Google

L'ensemble de ces essais paraît indiquer que les lots en cours de fabrication présentaient la stabilité normale.

Mais, si la matière qui passait en cours de fabrication dans le dépôt 12 pouvait être considérée comme remplissant toutes les conditions de stabilité nécessaires, il était naturel de se demander si, parmi les déchets séjournant d'une façon continue et soumis, pendant un temps plus ou moins long, à de fortes variations de température (1) dans ce dépôt, il ne s'en trouverait pas qui fussent susceptibles d'une décomposition spontanée. L'attention était ainsi appelée sur les petites quantités de matières qui devaient se trouver soit entre la semelle en bois et l'aire en ciment sur laquelle elle repose (2), soit entre les toiles constituant les parois verticales (3), soit sur les planchers à l'état de balayures, soit entre et dans les sacs entreposés dans le bâtiment à l'état de poussières ou de plaques adhérentes (4). Ces différents déchets ont donc été recueillis avec soin et soumis à des essais qui ont donné, d'abord à la poudrerie d'origine, puis au Laboratoire central, les résultats ci-après :

---

(1) Depuis le 1er janvier 1891, la plus basse température observée a été de — 15° C., et la plus forte de + 45° à l'ombre et + 62° au soleil.

(2) Rappelons l'inflammation qui s'est produite en l'un de ces points lors de la remise en place de la semelle du dépôt 10.

(3) Pour éviter cet inconvénient, de l'accumulation du poussier de coton-poudre entre les deux toiles, on avait, lors de l'allongement du bâtiment 12, simplement fixé le bas de la toile intérieure aux plinthes, sans clouer celles-ci à la semelle sur laquelle elles retombaient par leur propre poids. On pouvait ainsi, à chaque nettoyage, soulever les plinthes et retirer la très petite quantité de matière qui s'était déposée sur la semelle entre les toiles. Cette amélioration, limitée d'abord aux parties ajoutées du bâtiment 12, était étendue depuis aux autres bâtiments affectés au coton-poudre, à mesure qu'on en changeait les toiles usées.

(4) Le bâtiment 12 contenait environ 170 sacs en deux piles, placées l'une sur le rebord d'un baril et l'autre sur un tréteau; une centaine de sacs ont été retrouvés intacts et la plupart des autres ont été brûlés. Ces sacs, ayant précédemment contenu des matières à l'état pâteux, avaient conservé des plaques adhérentes qui devaient d'autant plus appeler l'attention que les poudres B, épuisées de dissolvant par une longue exposition à l'air, donnent des épreuves de chauffage à 110° susceptibles de descendre progressivement jusqu'à 2 heures.

Digitized by Google

DÉSIGNATION des échantillons.	SAINT-MÉDARD. Chaleur à 60°.	SAINT-MÉDARD. Résistance à 110.	LABORATOIRE CENTRAL. Chaleur à 60°.	LABORATOIRE CENTRAL. Résistance à 110°.
Déchet sur et sous la semelle du dépôt 11.....	de 3 à 9^{m}	»	»	»
Balayures à l'intérieur du bâtiment 9..	de 3 à 9	de 7 à 8^{h}	9^{m},30-9^{m},30 (1)	10.00 violacé
Balayures à l'intérieur du bâtiment 11.	de 3 à 9	de 4 à 8	15-16^{m}	10.00 violacé
Raclure (2) de sacs faites à St-Médard....	de 7 à 8	»	(signalé 12-12^{m}) 20^{m}	5.50 rouge
Raclure (2) de sacs faites à Paris.....	»	»	(signalé 11^{m}) 19^{m}	»
BF, charge blanche provenant de Sevran.....	»	»	> 20^{m}	10.00 rouge

(1) Les mêmes balayures soumises à un lavage rapide, dans les conditions de l'épreuve réglementaire des cotons renfermant des sels étrangers (carbonate de soude ou de chaux) ont donné 15-15^{m} au lieu de 9^{m} 30^{s}.

(2) Influence de la texture physique sur la résistance de l'épreuve de chaleur.

Des résultats obtenus par lui au Laboratoire central, M. l'ingénieur Vieille a tiré des conclusions que nous reproduisons textuellement :

De même que les lots en cours de fabrication présentaient la stabilité normale, les balayures et raclures ont également une stabilité très grande, qui ne permet pas de conclure à une probabilité quelconque de décomposition spontanée.

Pour ces dernières, l'épreuve de chaleur est, il est vrai, abaissée; mais on remarquera que pour les raclures de sacs, spécialement incriminées, l'abaissement de l'épreuve ne porte que sur le signalé, c'est-à-dire sur une modification presque insensible de la coloration du papier qui est rapidement suivie, dans l'épreuve normale des cotons, d'une coloration plus forte et qui, dans les essais actuels, est restée stationnaire pour ne s'accentuer qu'à 20°.

Il y a lieu de penser que les matières étrangères (fibres végétales) entraînées dans le raclage sont la cause de cette perturbation, qui n'indiquerait pas une altération réelle de l'explosif.

Pour les balayures au contraire, l'épreuve est nette et, bien qu'un lavage suffise à la ramener à une valeur considérée autrefois comme tout à fait satisfaisante, on peut admettre une légère diminution de résistance.

Cette altération s'expliquerait par les actions mécaniques du frottement auxquelles les cotons de balayures ont dû se trouver soumis, friction sous les pieds des hommes ou par glissement sous les corps lourds.

Nous nous sommes, en effet, assuré qu'il suffit de soumettre à une friction énergique le coton pulvérulent pour l'amener à un degré aussi faible que l'on vou-

Digitized by Google

dra de résistance à l'épreuve de chaleur, fait presque évident, puisque cette friction peut amener l'inflammation.

Ainsi, un coton normal donnant 23′ à l'épreuve de chaleur est descendu à 6′ (trait passant rapidement au bleu) après avoir été frotté avec la tête d'un marteau, par petites quantités, sur un carreau de grès.

Cette expérience expliquerait donc pourquoi les poussiers recueillis sur des surfaces non soumises au frottement à Sevran ont donné, d'après les résultats communiqués au Laboratoire central, plus de 20′, tandis que des balayures du dépôt d'essorage, comme celles de Saint-Médard, ont donné 10′, toute réserve faite sur l'action des matières étrangères mélangées.

La précipitation par l'eau du coton n'est pas elle-même une cause d'abaissement de l'épreuve (1). Deux échantillons de poudres BF et B_{16}, précipités par l'eau, après remise en pâte, ont en effet donné, le premier, 19′ et, le deuxième, 22′.

L'ensemble de ces essais semble donc indiquer que le seul mode de détérioration probable du coton-poudre réglementaire à grande stabilité est celui qui résulte d'actions mécaniques énergiques. Nous sommes donc porté à croire que l'origine de l'explosion de Saint-Médard doit être cherchée dans les flexions et glissements de la charpente des hangars Pombla, signalés comme possibles par le directeur de l'Établissement.

Des actions de cet ordre expliqueraient l'explosion et même l'abaissement des épreuves, constaté à Saint-Médard, sur des poussiers prélevés sous les semelles de bâtiments analogues. (Note du 14 novembre 1891.)

Parmi les diverses causes qui viennent d'être passées en revue pour expliquer l'explosion du 21 septembre, l'idée d'un acte de malveillance ou d'imprudence paraît tout d'abord devoir être écartée, et il doit en être de même de l'hypothèse de l'action d'un agent physique extérieur, qui a été ensuite examinée. Il ne reste donc plus de possible que celle d'une décomposition spontanée de l'explosif, et nous sommes disposé à admettre qu'elle s'est produite à la longue dans des déchets séjournant dans le dépôt 12. Cette décomposition s'est-elle produite dans l'une des deux piles de sacs, comme le suppose le directeur de la poudrerie, ou sous les semelles de la charpente, comme le pense l'Ingénieur du Laboratoire central, nous ne saurions l'affirmer, tout en considérant la seconde hypothèse comme plus probable, parce qu'il devait y avoir là une action de frottement dont l'effet s'est manifesté par une inflammation subséquente dans le dépôt 12.

Pertes. — L'évaluation des pertes s'élève à la somme totale de 26 257^{fr},84, ainsi répartie :

	fr
Bâtiments de la poudrerie	16 270,00
Indemnités à allouer aux propriétaires des environs	3 300,00
Ustensiles et objets divers	1 525,20
Matières	5 162,64
Total	26 257,84

(1) Le directeur de la poudrerie de Saint-Médard, ayant constaté qu'enfermé dans un flacon de verre bouché avec du liège, du coton-poudre précipité dans ses dissolutions émet des

Digitized by Google

Responsabilités. — L'exposé qui a été donné ci-dessus des mesures de précaution minutieuses apportées dans les moindres détails de l'exploitation de la poudrerie a déjà permis d'apprécier l'intelligence et le soin avec lesquels cet établissement est conduit et de prévoir notre avis sur la question des responsabilités.

Sous une direction telle que celle de M. BÉRARD, la poudrerie de Saint-Médard devait, en effet, rester indemme si le dévouement et la science constituaient des garanties suffisantes contre des accidents de cette nature. Aussi faut-il, pour expliquer celui du 21 septembre, admettre l'action invisible de particules de matière presque insaisissables, fait fortuit inhérent à la fabrication même et ne pouvant en aucune façon être imputé au personnel de l'établissement.

Nous n'avons également que des éloges à adresser au jeune ingénieur de la poudrerie qui, momentanément chargé de la gestion, a montré dans la circonstance toute la maturité d'un vieux praticien.

Dans les personnels secondaire et ouvrier, qui se sont, comme toujours, montrés absolument dévoués, nous devons signaler :

1° Le chef-ouvrier MAYNARD qui, arrivé des premiers sur les lieux, en même temps que l'ingénieur, et envoyé par ce dernier vérifier l'état des dépôts voisins, n'a pas hésité à monter sur les toits pour enlever les débris qu'une mince toile séparait seule des quantités considérables de coton-poudre sec renfermées à l'intérieur, action méritoire, que nous serions reconnaissant à M. le ministre de la guerre de vouloir bien récompenser par l'attribution d'une gratification de 100^{fr};

2° Le poudrier de 1re classe DUGRAVA (François), celui-là même qui, précisément en raison des garanties qu'il présentait, chargé du service du dépôt 12, a, le 21 septembre 1891, quelques minutes après l'explosion, quitté le dernier ce dépôt après y avoir mis tout en ordre. Cet excellent ouvrier, grièvement blessé dans l'explosion de nitroglycérine qui, le 22 mars 1873, a tué l'ingénieur Dordens, avec lequel il travaillait au laboratoire, a, en effet, pour la seconde fois, vu la mort de si près que nous croyons devoir demander pour lui une gratification de 50^{fr}.

Enfin, nous demandons une gratification de 25^{fr} pour le soldat BELLOT (Pierre) qui, se trouvant comme planton à 70^{m} du dépôt, a subi les effets de l'explosion et, sans perdre la tête, a couru vers le logement de l'ingénieur demander du secours.

Propositions. — L'hypothèse que nous avons admise comme la plus

---

vapeurs nitreuses qui attaquent le bouchon, avait exprimé la crainte que le lavage des sacs qui ont contenu des matières de poudre B ne déterminât la précipitation du coton-poudre contenu dans ces matières et ne créât ainsi une cause de danger.

Digitized by Google

probable et qui attribue l'origine de l'explosion à une décomposition nitreuse, sous l'action d'un frottement, de déchets de coton-poudre qui s'étaient introduits, à la longue, entre la semelle de l'ossature en bois du bâtiment 12 et l'aire en ciment sur laquelle repose cette semelle doit d'abord conduire à la suppression de cette cause d'inquiétude. On y arrivera, sans augmentation notable de résistance, en encastrant de quelques centimètres les poteaux de la charpente, avec interposition d'un mastic gras, dans le socle en pierre des bâtiments à coton-poudre et en les y fixant par des goujons. Si la semelle en bois doit être conservée, elle sera séparée du sol par le même mastic interposé; mais, comme il importe d'écarter en même temps les autres causes d'accidents jugées moins probables, la double paroi en toile qui avait été adoptée à cause de sa grande légèreté, paraîtrait devoir être remplacée par une simple paroi en briques de liège, laquelle, tout en permettant de supprimer la semelle, aurait l'avantage de faire disparaître les réceptacles intérieurs des déchets de coton.

Tous les joints permettant l'introduction et le séjour prolongé des particules ténues de coton-poudre seront l'objet d'une attention spéciale. Les aires en ciment, avec tapis en linoléum ou caoutchouc susceptibles d'être enlevés par des lavages fréquents et soignés, seront donc conservées, à l'exclusion des planchers en bois et en liège, qui conserveraient dans leurs joints des particules dangereuses, et même des aires en asphalte, qui présenteraient d'autres inconvénients. Ces tapis seront prolongés sans discontinuité sur les seuils en bois extérieurs. Le mode de couverture en carton bitumé qui, s'il offre l'avantage de constituer des projectiles inoffensifs, a le double inconvénient d'opposer une résistance pour ainsi dire nulle aux projectiles et d'exiger un voligeage au-dessus duquel les déchets séjournent indéfiniment à une température élevée, paraît devoir être avantageusement remplacé par des tuiles métalliques de grande dimension, dont la surface serait un obstacle aux projections, et au-dessous desquelles une toile cirée formerait un plafond aussi continu que possible, dans toute son étendue et en ses lignes de jonction, avec les parties verticales de la construction.

Les fenêtres mobiles seront remplacées par des panneaux fixes et les vitres par de la toile transparente. L'aération se fera par des orifices ménagés dans la partie supérieure des pignons.

La communication de l'explosion du 21 septembre à une distance de 200^{m}, sans atteinte sérieuse au dépôt interposé à mi-distance, doit être considérée comme un fait accidentel entièrement anormal, et l'intervalle de 100^{m}, le plus grand qui ait été adopté jusqu'à ce jour entre les bâtiments à poudre, ne paraît pas pouvoir ni devoir être dépassé.

Mais, en outre de ces précautions communes à tous les établissements

Digitized by Google

qui travaillent le coton-poudre sec, la poudrerie de Saint-Médard appelle une mesure plus importante, celle d'une acquisition de terrain qui permette d'opérer la séparation complète de la manipulation du coton-poudre sec de la fabrication proprement dite de la poudre B.

Si, grâce aux circonstances dans lesquelles elle s'est produite, l'explosion du 21 septembre dernier, tout en s'étendant à deux bâtiments éloignés l'un de l'autre de 200^{m} et à une quantité de 1229^{kg} de coton-poudre sec, n'a pas eu la gravité de la précédente (1), elle n'en a pas moins confirmé les craintes que n'a cessé de nous inspirer, depuis plusieurs années, l'assiette actuelle des dépôts de cette matière.

La dernière explosion, tout en survenant dans un moment où le ralentissement du travail avait partout réduit les quantités en cours de fabrication, eût pu, en effet, entraîner de proche en proche celles du dépôt n° 10 (200^{kg}), des coffrages n^{os} 9 et 7 (660^{kg} et 600^{kg}), des quatre séchoirs n^{os} 3, 4, 5 et 6 (1000^{kg} chacun) et atteindre, d'un autre côté, par le bâtiment n° 11, le dépôt de fûts pleins d'éther, dans lesquels une température de 160° eût suffi pour développer une tension de vapeur de 172^{cm}, c'est-à-dire de 2^{atm},5, et amener l'explosion de 600 fûts contenant environ 180 000^{kg} d'éther.

Nous n'avons pas manqué, dès notre première mission à Saint-Médard, le 14 avril 1888, de signaler l'éventualité d'un pareil désastre au ministre, dans un rapport qui a été suivi de négociations pour l'acquisition d'une bande de terrain ; mais ces négociations n'ont pas encore amené de résultat, et l'accident du 21 septembre est venu m'obliger à solliciter la reprise et la solution d'urgence de la question de l'acquisition du terrain dit *de la Fontaine,* qui paraît à tous égards le plus favorable.

Jusqu'à nouvel ordre, la fabrication n'ayant pas besoin d'être poussée avec son maximum d'intensité, on reconstruirait seulement le dépôt n° 8, sans toucher au n° 12 que sa proximité de la réserve d'éther, et aussi du bâtiment d'habitation I, rend tout particulièrement dangereux.

Paris, le 12 mai 1892.

L'inspecteur général,
G. MAUROUARD.

---

(1) Le 25 juillet 1887, le dépôt n° 3, affecté au coton-poudre humide, a sauté en faisant trois victimes, par suite de l'explosion de 300^{kg} de coton-poudre qui s'y trouvaient momentanément à l'état sec, en même temps que 1350^{kg} de coton-poudre humide qui n'ont heureusement pas détoné.

Digitized by Google

N° 162.

SURVEILLANCE DES FABRICATIONS DE POUDRES PAR LES PARTICULIERS.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

(Circulaire n° 37, du 20 août 1892.)

Par la circulaire n° 625, en date du 15 février 1891, l'administration a appelé l'attention du service sur les fabrications de poudres faites, à titre d'essai, par les particuliers.

Elle a rappelé que ces préparations, lorsqu'elles ne se bornent pas à des études de laboratoire, constituent une infraction à la législation fiscale qui prohibe d'une façon absolue la fabrication de la poudre par les simples particuliers.

Même en ce qui concerne les recherches faites par des inventeurs en vue de soumettre au ministère de la guerre de nouveaux produits, quelques mesures sont nécessaires, dans l'intérêt du Trésor et de la sécurité publique.

Il y a lieu notamment d'empêcher que ces fabrications de laboratoire ou d'essai portent sur des quantités de matières illimitées et se poursuivent pendant un laps de temps indéterminé.

La situation des personnes qui se livrent à ces préparations doit, d'ailleurs, être régularisée. Il est donc nécessaire d'imposer à tout particulier qui veut se livrer à l'étude ou à la recherche des poudres et explosifs l'obligation de se pourvoir de l'autorisation prévue par l'art. 24 de la loi du 13 fructidor an v et par l'art. 2 de la loi du 24 mai 1824.

Après entente entre les trois départements de la guerre, de l'intérieur et des finances, il a été décidé que l'autorisation de fabrication serait accordée, sur la demande de chaque intéressé, par le préfet du département où la fabrication doit avoir lieu.

L'arrêté préfectoral déterminera, pour chaque cas spécial, le laps de temps pour lequel l'autorisation sera valable et il précisera la nature des matières à manutentionner, les lieux de préparation

Digitized by Google

et le maximum de la quantité qui pourra être préparée et conservée.

Il a été entendu qu'une ampliation des arrêtés pris par les préfets serait adressée à l'administration qui donnera au service des instructions pour l'exécution de chaque décision spéciale.

Le conseiller d'état, directeur général,
A. CATUSSE.

N° 163.

EXPLOSION SURVENUE, LE 23 JANVIER 1892, DANS L'USINE DE LISSAGE N° 73 DE LA POUDRERIE DE SAINT-CHAMAS.

(Lettre collective n° 12.)

Paris, le 20 août 1892.

Messieurs, une explosion s'est produite, le 23 janvier dernier, vers $2^h 30^m$ du matin, dans l'usine n° 73 de la poudrerie de Saint-Chamas, contenant une tonne de lissage, chargée d'environ 500^{kg} de poudre de chasse, qui avait été mise en marche le 22 à 5^h du soir.

Cette explosion n'a pas fait de victime; mais elle a causé d'importants dégâts matériels : l'usine a été complètement détruite, ainsi que ses coffrages; la partie inférieure du mur de fond est seule restée debout, mais fortement crevassée, et tout le bâtiment doit être reconstruit; les mécanismes ont été brisés, y compris la poulie-câble de commande. Les autres bâtiments ont, d'ailleurs, peu souffert.

Je vous adresse, avec deux vues photographiques de l'usine après l'explosion, le rapport de M. l'inspecteur général Maurouard sur cet accident.

D'après ce rapport, qui relate les détails de deux enquêtes successives faites à la poudrerie de Saint-Chamas à quinze jours d'intervalle, l'explosion de l'usine n° 73 est due à la présence d'allumettes chimiques dans la poudre de chasse destinée au lissoir; elle a été déterminée par l'inflammation de la composition chimique sous l'influence de l'élévation de température qui se produit, après quelques heures de marche, dans une tonne fermée lissant de la

Digitized by Google

poudre presque sèche, et l'introduction des allumettes doit être attribuée à un acte de malveillance prémédité dont un ouvrier se serait rendu coupable.

Ces appréciations ont été corroborées par la découverte faite le 5 février, quinze jours après l'explosion de l'usine n° 73, de deux allumettes chimiques entières dans une lissée de poudre de mine durant l'égalisage qui suit le déchargement du lissoir : ces allumettes étaient recouvertes d'une couche de poudre dont l'état et l'adhérence prouvaient qu'elles avaient été mises dans la poudre avant lissage et avaient tourné dans la tonne ; mais, grâce à la forte humidité de la poudre de mine qui avait facilité l'encroûtement et au peu de durée de la marche à portes fermées qui n'avait donné lieu qu'à une faible élévation de la température, elles n'avaient pas pris feu, et un nouveau désastre avait été épargné à la poudrerie.

Ce grave incident, en confirmant l'hypothèse émise lors de la première enquête sur la cause de l'explosion de l'usine n° 73, semble, en effet, démontrer la persistance des intentions criminelles d'un malfaiteur appartenant au personnel de la poudrerie. Toutefois, les recherches faites avec grande activité par le directeur et l'intervention des magistrats du parquet d'Aix, qui ont procédé sur place à une information minutieuse, n'ont pu réussir à faire découvrir le coupable, et, depuis six mois, aucune indication n'a été recueillie qui permette de formuler une accusation précise contre un quelconque des ouvriers employés dans la poudrerie à l'époque où se sont produits les incidents signalés.

Il est donc encore permis de croire que l'introduction des allumettes dans la poudre n'a pas été un acte volontaire qui constituerait une tentative de crime contre les personnes et les propriétés et dont les annales du service des poudres n'offrent qu'un exemple ayant soulevé, d'ailleurs, la réprobation universelle et attiré sur son auteur une répression sévère, mais qu'elle est la suite de la négligence ou de l'imprudence d'un ouvrier qui aurait, par mégarde, conservé des allumettes dans ses poches d'où elles seraient tombées dans les barils à poudre pendant son travail.

Quelle que soit la cause réelle de la présence de ces allumettes chimiques dans la poudre, qu'il s'agisse de tentatives criminelles ou de coupables imprudences, le seul moyen d'empêcher le re-

Digitized by Google

tour de pareils faits dont les suites peuvent être si funestes, c'est, après un choix sévère du personnel, l'exercice d'une surveillance incessante de la part des chefs sur leurs ouvriers et de la part de ceux-ci les uns sur les autres.

Les directeurs devront donc veiller tout particulièrement au bon recrutement et à la bonne composition du personnel des établissements; ils prendront soin aussi de faire comprendre aux ouvriers l'importance que présente, pour eux-mêmes, l'exécution complète et régulière des mesures prescrites dans l'intérêt de la sécurité; ils rappelleront enfin qu'en cette matière tous les hommes employés dans un établissement de fabrication sont solidaires les uns des autres, que chacun est tenu de s'opposer à tout acte imprudent ou coupable de la part d'un de ses camarades de travail et que tout employé ou ouvrier a le devoir de rendre compte immédiatement des faits intéressant la sécurité qui viendraient à sa connaissance.

J'invite, d'ailleurs, les directeurs à rappeler au personnel, par la voie de l'ordre, que tout individu qui sera trouvé, soit à l'entrée de l'établissement, soit pendant le travail, porteur d'allumettes chimiques, dans quelques conditions et pour quelque motif que ce soit, sera immédiatement exclu, et à assurer l'exécution rigoureuse des fouilles, non seulement à l'entrée par les concierges, mais aussi en cours de travail, à l'improviste, et sous la surveillance des chefs-ouvriers, par des brigadiers ou poudriers désignés à cet effet.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

RAPPORT

sur l'explosion survenue, le 23 janvier 1892, au lissoir n° 73 de la poudrerie nationale de Saint-Chamas.

(Extrait.)

Le 23 janvier 1892, vers $2^h 30^m$ du matin, le lissoir n° 73 de la poudrerie de Saint-Chamas a fait explosion, sans autre dommage que des dégâts matériels à peu près limités au bâtiment dans lequel l'accident s'est produit.

Digitized by Google

État des lieux avant l'explosion. — Le bâtiment n° 73 faisait partie d'une ligne de douze usines établies, en 1884 et 1885, dans l'étang de Berre, à environ 120^{m} en avant de la lisière des terrains en cours de colmatage. Cette nouvelle emprise (*fig.* 1), faite dans l'étang, avait eu pour but bien moins un développement de la fabrication que la division d'opérations dont l'accumulation menaçait la poudrerie d'un effroyable cataclysme, et parmi les nouvelles usines espacées à des distances d'environ 80^{m} d'axe en axe, le long d'une digue de plus de 1^{km}, les huit dernières devaient recevoir tous les appareils de lissage jusqu'alors réunis dans une seule usine au pied de la montagne.

Les nouvelles usines ont été établies suivant un type unique (*fig.* 1 et 2), dont les dispositions sont combinées pour diriger les explosions en avant vers l'étang, en protégeant les espaces situés en arrière et latéralement. Chacune d'elles consiste, à cet effet, en une masse de maçonnerie destinée, sinon à résister aux explosions, au moins à les diriger, et constituée par deux murs parallèles, que relient entre eux, à leur partie supérieure, d'abord une demi-voûte, puis une série de fers I, en partie utilisés pour supporter les mécanismes de transmission. L'intervalle de 2^{m},50 qui existe entre ces murs, clos à ses extrémités par des panneaux vitrés, forme un cabinet dit de *transmission* le long du chemin de service pour la construction duquel a été utilisée la digue établie au début des travaux, à la distance insuffisante de 4^{m} en arrière de la ligne d'usines.

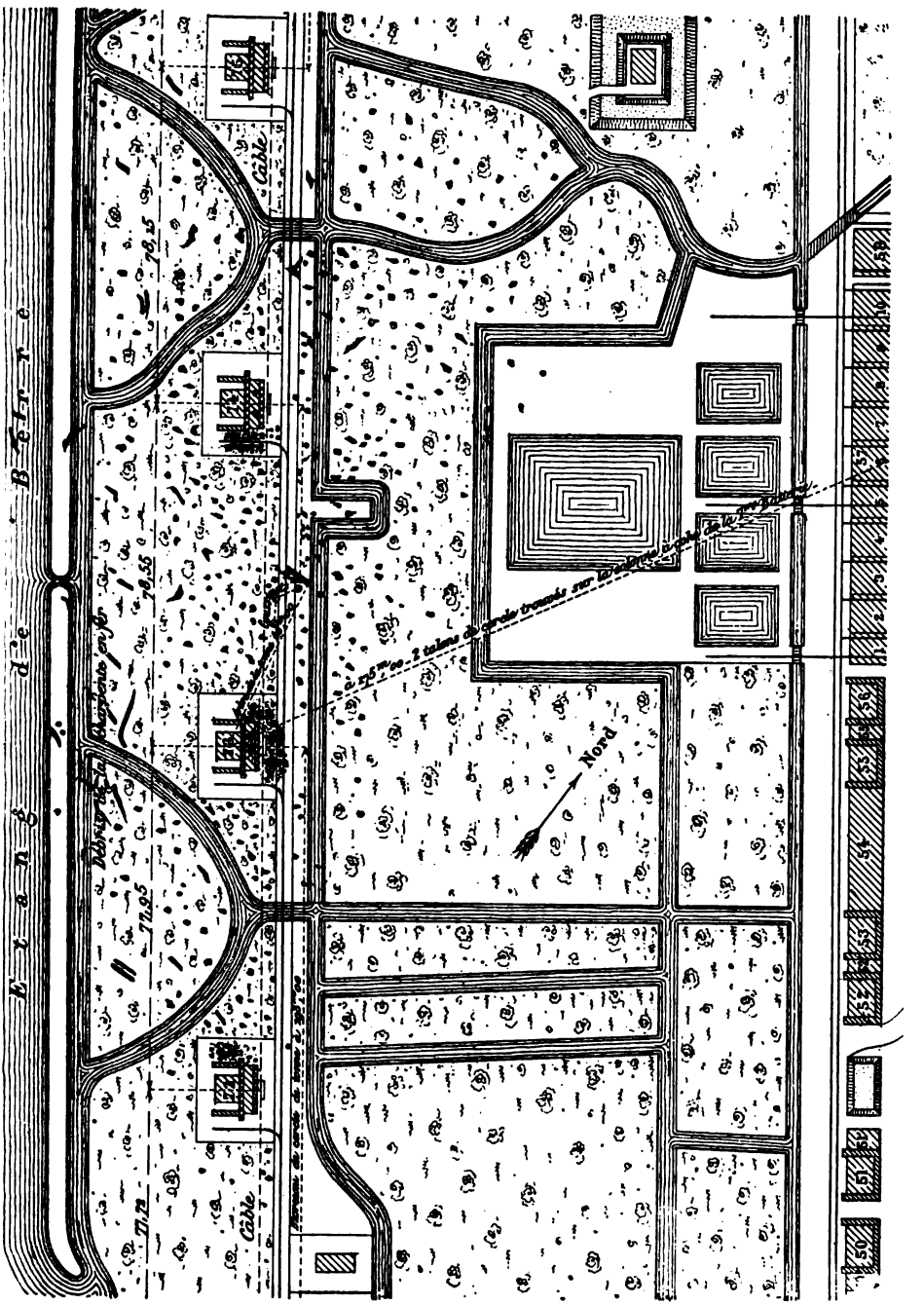
Au mur vertical qui s'élève du côté opposé, à une hauteur de 8^{m},50, est adossée une construction légère à charpente en fer, qui présente une superficie de 7^{m} sur 6^{m} et forme l'usine proprement dite. Enfin, pour protéger les usines entre elles, en attendant le colmatage et la végétation des espaces qui les séparent, des coffrages en bois remplis de terre s'élèvent de chaque côté de chacune d'elles perpendiculairement au mur de fond.

Chaque usine a reçu une tonne à deux compartiments, reposant par sa cloison centrale sur un arbre qui traverse le mur de fond et reçoit l'une des vitesses réglementaires de 7 et 14 tours, par l'intermédiaire des mécanismes de transmission installés dans le cabinet et actionnés eux-mêmes par une poulie-câble établie en porte-à-faux à l'extérieur, parallèlement au chemin de service. Les huit poulies-câbles successives (*fig.* 1), placées dans le même plan, sont, à l'exception des deux extrêmes, à double gorge et se transmettent de l'une à l'autre la force fournie par une machine à vapeur II, qui préexistait, pour une autre destination, en arrière de la nouvelle ligne d'usines.

La tonne, placée vers le milieu de l'usine, à 2^{m},25 au-dessus du sol, est conforme au type réglementaire, sauf en ce qui concerne l'essence du bois employé à sa confection et le mode de fermeture de ses orifices latéraux;

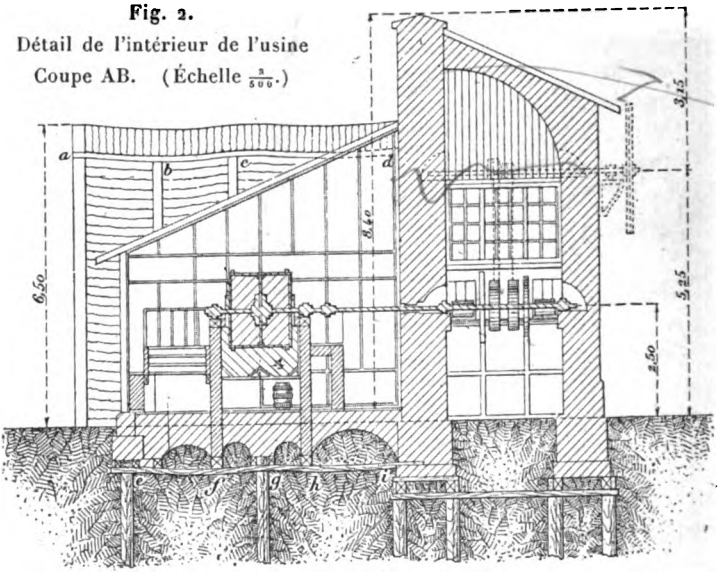
Digitized by Google

Fig. 1. — Extrait du plan d'ensemble. (Échelle $\frac{1}{1000}$.)

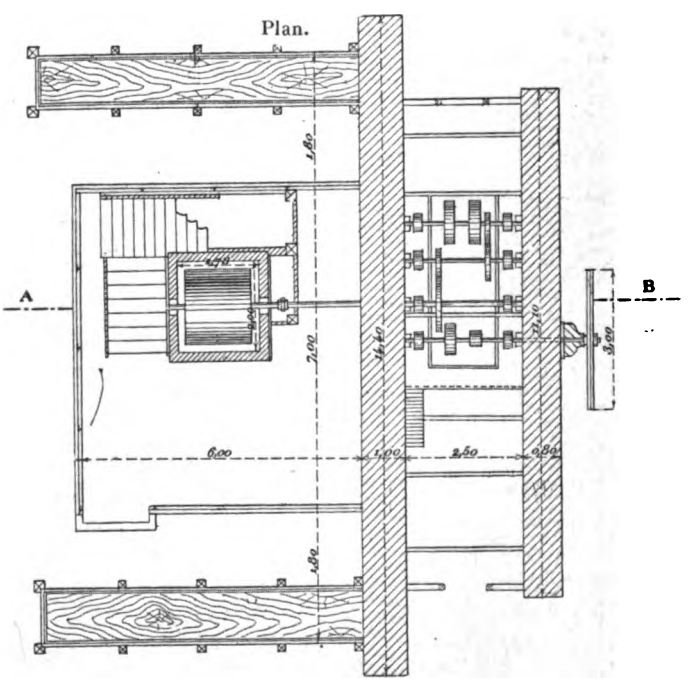

Nord
Côte
Côte
Côte

les fonds, au lieu d'être faits en chêne, l'ont, en effet, été en noyer, bois

Fig. 2.
Détail de l'intérieur de l'usine
Coupe AB. (Échelle $\frac{2}{500}$.)



Plan.

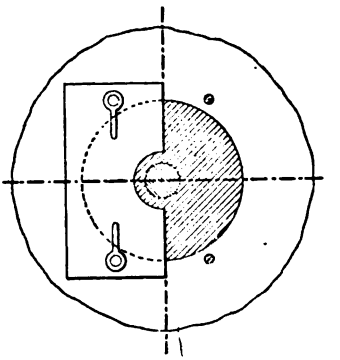


plus susceptible de se détériorer sous l'influence de la chaleur humide, et

Digitized by Google

le dégagement des ouvertures, au lieu d'être obtenu (*fig.* 3) au moyen de

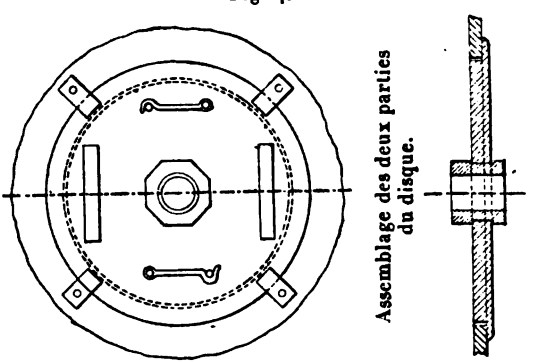
Fig. 3.



Fermeture réglementaire d'une tonne de lissage. (Échelle $\frac{1}{16}$.)

l'enlèvement d'une porte en deux pièces, l'est au moyen du déplacement, suivant la longueur de l'arbre, d'une porte en une seule pièce (*fig.* 4),

Fig. 4.



Fermeture d'une tonne à Saint-Chamas. Vue extérieure. (Échelle $\frac{1}{16}$.)

disposition qui peut donner lieu à des frottements dangereux.

Assises sur des pilotis de 13^{m}, trop clairsemés par raison d'économie, ces constructions ne devaient pas présenter une grande stabilité, et, en effet, les murs de fond, appelés en avant par le poids des coffrages, qui y avaient été imprudemment reliés par des boulons et qui s'affaissaient, se sont, sous l'action de cette charge agissant à l'extrémité d'un grand bras de levier (*fig.* 2, ligne *abcd*), plus ou moins inclinés vers l'étang avec le reste de la maçonnerie des cabinets.

Digitized by Google

Toutefois, ces mouvements qui, pour la dernière usine de la ligne (n° 78), ont atteint une inclinaison des murs de fond de 3^{mm} par mètre et se continuent même encore, d'une façon inquiétante, se sont, pour l'usine n° 73, depuis longtemps arrêtés à moins de o^{mm},7 par mètre, à la suite de la simple mesure de la suppression des boulons de réunion des murs aux coffrages, dont la vidange a d'ailleurs été elle-même autorisée le 5 mai 1890. Aussi la dernière visite de l'usine, opérée le 18 octobre 1891, a-t-elle permis de constater que tous les arbres étaient de niveau, sauf celui de la poulie-câble qui penchait de 1^{mm},5 par mètre à l'est et qui a été remis de niveau.

Les tonnes elles-mêmes, imparfaitement supportées sous les montants de leurs cages, ont subi des affaissements (*fig.* 2, ligne *efghi*) qui ont eux-mêmes contribué au dérangement des mécanismes et nécessité de fréquentes remises de niveau des paliers; toutefois, ce mouvement qui, pour l'usine 73, s'était arrêté à un affaissement de o^{mm},7, n'avait exigé l'introduction d'aucune nouvelle cale sous les paliers depuis le 23 avril 1890, c'est-à-dire depuis près de deux ans.

Circonstances de l'explosion. — La poudre qui a fait explosion dans le lissoir n° 73 était de la chasse ordinaire n° 3; elle faisait partie d'un lot de matières apportées, à leur sortie des usines à meules, dans le dépôt n° 33, spécialement affecté aux poudres de chasse, sous la surveillance du brigadier de deuxième classe Noyer (Édouard).

Ces matières avaient, depuis leur entrée dans ce dépôt et pendant toute la semaine qui a précédé l'explosion, subi les mouvements et opérations ci-après :

Tamisage des pâtes molles, par l'auxiliaire de deuxième classe Montet, employé en permanence à cette opération;

Transport, aller et retour, entre le dépôt n° 33 et les grenoirs n^{os} 25 et 26, opéré pendant toute la semaine par l'auxiliaire de deuxième classe Régnier;

Grenage, pendant la même période, par le poudrier de première classe Entraigues dans le grenoir 25, et par le poudrier de deuxième classe Engaltier dans le grenoir 26;

Le 22 janvier, vers 4^{h}3o^{m} du soir, enlèvement dans le dépôt 33, sous la direction du brigadier Noyer, déjà cité, et transport aux cinq lissoirs n^{os} 73 à 77 inclus et versement dans les tonnes de leur chargement, composé, pour 6/7 de grains provenant des grenoirs et pour 1/7 de grains de pâtes molles, par les ouvriers Authman, Aurigo, Jourdan (Pierre), Troump (Marius), Surian (Victorin), Troump (Léopold), Héband, Surian (Marcellin), Cayol (Charles) et Audibert.

Le chargement des cinq tonnes, à raison, par chaque compartiment, de sept barils contenant chacun environ 35^{kg} de grain, soit environ 500^{kg} par

Digitized by Google

tonne, est surveillé, ce jour-là, par le poudrier de première classe SAUVAIRE, qui tient la trémie mobile, dans laquelle les barils sont successivement vidés, met les portes en place et serre leurs écrous à fond.

L'opération du chargement est en outre contrôlée par le brigadier de deuxième classe LANGLADE, depuis longtemps chargé de la surveillance des lissoirs dits *de la digue*. En ce qui concerne notamment l'usine 73, c'est ce brigadier qui, le 22 janvier, à 4^{h} du soir, nettoie la tonne et qui la met en marche à 5^{h} à la petite vitesse, après s'être assuré que tout est en ordre dans l'usine.

Le brigadier de première classe CHIRON prend le service de 6^{h} à minuit et, dans l'intervalle, il séjourne à plusieurs reprises dans les usines, et notamment à 7^{h}, pour insuffler un litre d'eau dans chaque compartiment des cinq tonnes et, à 9^{h}, pour mettre celles-ci à la grande vitesse. Tout va bien.

A minuit, le poudrier de deuxième classe LIVON (Joseph) lui succède Il prend, en arrivant à l'usine 73, la capote de guérite qu'y avait laissée son prédécesseur et remonte la ligne des lissoirs jusqu'au n° 77, en se présentant à la porte de chacun d'eux, puis il refait presque immédiatement la même visite en sens inverse et se dirige vers les séchoirs n^{os} 69 et 20, où il met la vapeur dans les calorifères, graisse les coussinets des ventilateurs et s'assure que tout marche bien. Il est environ 2^{h} du matin quand il quitte les séchoirs pour retourner aux lissoirs, qu'il visite successivement jusqu'au n° 77, où il s'arrête pour prendre un peu de repos dans le cabinet de transmission. C'est là qu'il se trouve depuis une dizaine de minutes quand survient l'explosion de l'usine 73. Il se dirige aussitôt vers cette usine, où il arrive le premier et où il est bientôt rejoint par les autres personnes accourues au bruit de la détonation. Cet ouvrier affirme qu'il était, environ vingt minutes avant l'accident, entré dans l'usine, que celle-ci ne présentait rien d'anormal et que la tonne, notamment, marchait sans aucune secousse indiquant un dérangement quelconque.

Deux autres ouvriers étaient à proximité : le mécanicien Féline et son chauffeur Argème, lesquels avaient pris le service à 6^{h} du soir. Le premier se trouve vers le milieu de la salle (bâtiment *u'*, *fig.* 1) quand l'explosion se produit, et il aperçoit en l'air un objet enflammé, en même temps que survient un violent soubresaut dans les transmissions. Il arrête sa machine, descend prévenir le chauffeur de faire tomber le feu de ses chaudières, puis se dirige vers le lieu de l'accident, en l'indiquant aux survenants, et, aussitôt arrivé, il appelle le surveillant des lissoirs, lequel lui répond immédiatement.

Les chefs de la poudrerie, réveillés vers 2^{h} 30^{m} du matin par le bruit de l'explosion, se sont tout d'abord, en arrivant à l'usine 73, assurés qu'il

Digitized by Google

n'existait ni sur les usines ni dans les terrains voisins aucun débris enflammé, à l'exception d'un seul qui brûlait encore à une trentaine de mètres de l'usine 73, du côté sud. Bien que ce débris ne présentât aucun danger dans le marécage où il se trouvait, on a fait jouer, pour l'éteindre, la pompe qui avait, comme toujours en pareil cas, été amenée sur les lieux.

État des lieux après l'explosion. — En arrivant à l'usine 73 par le chemin de service des usines de la digue, on se trouve en présence d'un amoncellement de débris provenant du renversement du mur de fond dans le cabinet et du mur postérieur sur le chemin. Le premier de ces murs a été renversé jusqu'à un certain plan horizontal passant par les fers I les plus élevés, et au-dessous ses parements, bien que présentant de nombreuses crevasses, sont restés verticaux; quant au second, qui a supporté tout le poids des blocs de plusieurs mètres cubes provenant de la partie supérieure de l'autre, il présente une forte inclinaison et menace de s'écrouler entièrement, uniquement retenu qu'il est par les fers I reliant ces murs l'un à l'autre. C'est ainsi que le renversement a été complet du côté sud, où les liaisons n'existaient que dans le haut, et seulement partiel du côté nord, où la présence des mécanismes avait nécessité l'emploi d'un assez grand nombre de supports métalliques.

Pour la construction légère constituant l'usine proprement dite, les charpentes en fer et en bois ont été presque entièrement projetées. La seule partie qu'on en voie, assez importante du reste, se trouve un peu à gauche, à une quarantaine de mètres, au bord de la mer; le reste est probablement dans les marécages du colmatage en cours ou dans la mer. Le plancher (posé sur bitume) a été crevé à l'emplacement de la tonne, en formant un entonnoir peu considérable, et, dans tout le reste de la surface, les lames légèrement carbonisées sont restées en place, dans des conditions prouvant l'excellence de ce système qui ne laisse pas pénétrer le poussier au-dessous des planchers. Un morceau d'un mètre de hauteur du montant sud-ouest de la trémie de la tonne est resté en place.

Les coffrages latéraux, qui vidés de leur terre et en voie de pourriture ne présentaient plus qu'une faible résistance, ont été entièrement rasés et leurs débris ont été projetés à droite et à gauche contre les coffrages voisins, qu'ils ont en partie défoncés, et même au-dessous jusqu'à une distance de 150^{m}. Dans cet intervalle, tout le sol en avant du chemin de service, et même sur ce chemin, est jonché de ces débris de toutes dimensions.

Le manchon qui relie, à l'intérieur de l'usine, l'arbre de la tonne avec l'arbre de couche de la transmission a été brisé; ce dernier arbre, assez fortement tordu vers le nord, est resté en place avec une partie du manchon,

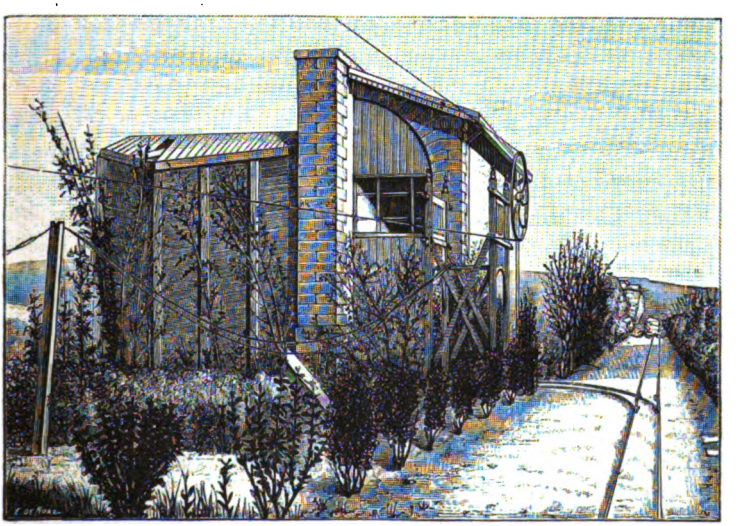
Digitized by Google

et le premier a été projeté vers le nord et retrouvé (*fig.* 1) à une quarantaine de mètres de l'usine, de l'autre côté du chemin de service et, par

Fig. 5.

Vue de l'usine après l'explosion. — Côté antérieur.

Fig. 6.



Vue d'une usine du même type avant l'explosion. — Côté postérieur.

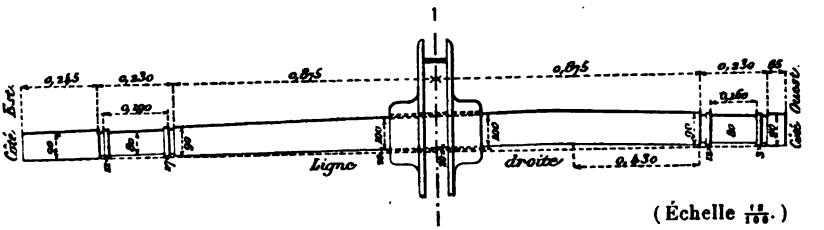
suite, un peu en arrière de l'alignement du mur de fond. Il porte à l'un de ses bouts la seconde partie du manchon brisé et, à l'emplacement du milieu de la tonne, avec leurs moyeux intacts, les deux plateaux en bronze, en

Digitized by Google

partie brisés, entre lesquels la partie interposée du fond central en bois existe encore. Légèrement faussé dans sa longueur (*fig.* 7), cet arbre est

Fig. 7.

Arbre de la tonne de l'usine 73. — Projection sur un plan horizontal.



(Échelle $\frac{1}{100}$.)

resté absolument lisse à ses deux portées, et il ne présente d'autre détérioration qu'une éraflure produite, au moment de son soulèvement, par l'énorme pression exercée contre le bord du chapeau du palier voisin du manchon; aussi suffira-t-il de le redresser pour le mettre en état de service. Enfoncé dans le sol à une profondeur moyenne de $0^m,60$, il avait à peu près disparu dans le marécage où l'un de ses bouts était seul resté visible; on a pu retrouver également dans la direction qu'ils avaient suivie trois des quatre coussinets de la tonne. Deux talons d'un des cercles en cuivre de la tonne ont été lancés, sur une colonne à coke, à 150^m environ en arrière de l'usine; ce sont, avec un autre morceau retrouvé à 123^m, les débris retrouvés le plus loin du foyer de l'explosion.

La poulie-câble à double gorge a été brisée sur son arbre, lors de l'écoulement de la voûte du cabinet, et les différents organes de la transmission, qui supportent encore d'énormes blocs de maçonnerie du mur de fond, n'ont reçu d'autres atteintes que celles qui proviennent de la chute de ces débris. Il est en outre manifeste, d'après leur position, que les câbles portés par cette poulie ne sont tombés qu'à la suite de la rupture de celle-ci.

En ce qui concerne les autres bâtiments de l'établissement, il n'y a guère à signaler, en outre des carreaux qui y ont été cassés, que, dans les deux usines voisines n^{os} 72 et 74, l'éventrement déjà indiqué des coffrages sans solidité, des bris de panneaux et des déchirures de serge. Le plafond du dépôt n° 39 est en partie tombé. Partout ailleurs les dégâts du même genre sont sans importance.

Causes de l'explosion. — L'explosion, dans les conditions où elle s'est produite, ne peut provenir que d'un dérangement de mécanismes ou d'un fait de malveillance; ces deux causes vont être successivement examinées.

Digitized by Google

En ce qui concerne la première, l'état absolument lisse des portées de l'arbre et des coussinets des paliers à rotins qui supportaient ce dernier rend d'abord inadmissible l'hypothèse de l'existence, en ces points, d'un grippement quelconque et même de tout échauffement dangereux; les bouts des deux arbres réunis dans le manchon n'ont eux-mêmes pu exercer le moindre frottement l'un contre l'autre; les écrous en bronze de fixation des portes de la tonne avaient été bien serrés et, d'ailleurs, la distance de la cage est telle que ces écrous, en se desserrant, seraient tombés avant de venir frotter contre celle-ci; les cercles entourant les douelles de la tonne sont maintenus non seulement par les écrous réunissant leurs talons, mais encore par de nombreuses vis à bois, et d'ailleurs si l'un de ces cercles se détachant en tombant entre la cage et la tonne fût venu s'y coincer, ses débris, au lieu d'être projetés au loin par l'explosion, eussent été retrouvés sur le plancher sans doute dans l'emplacement même de la tonne; enfin, la blancheur immaculée du plâtre, à l'intérieur de l'œillard qui donne passage à l'arbre de la transmission, rend inadmissible l'hypothèse de l'arrivée par là d'une flamme qui aurait pris naissance dans le cabinet.

Reste l'hypothèse de la rupture du fond ou plateau central, à laquelle nous n'aurions même pas songé si l'enquête ne nous avait révélé l'existence antérieure d'un accident de ce genre, survenu dans des conditions qui sont restées inexpliquées et contre la reproduction desquelles aucune mesure n'avait été prise.

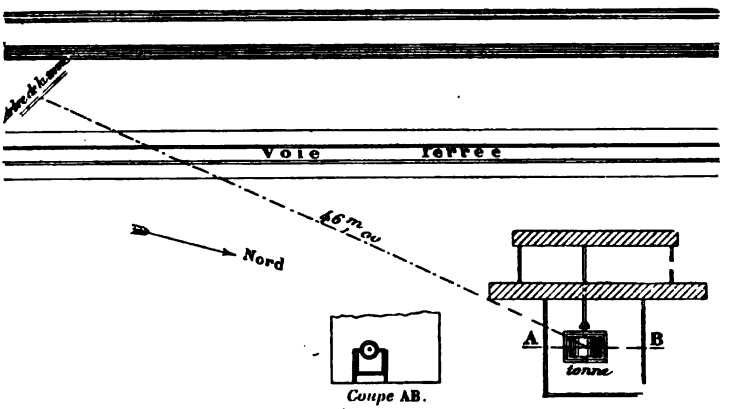
A une date qui n'a pu nous être précisée et qui doit remonter au mois de décembre 1890, la tonne de l'usine n° 74 s'est séparée des plateaux en bronze qui la fixaient sur l'arbre, et, supportée par les orifices centraux de ses panneaux de fermeture, elle s'est déplacée dans le sens de la longueur de l'arbre et est venue frotter contre la paroi latérale de la trémie fixe, où le brigadier Langlade, déjà cité, l'a trouvée arrêtée par l'arbre en mouvement. La rupture s'était faite circulairement, avec quelques arrachements tout autour des manchons en bronze. Le bois examiné a été jugé sain et la tonne réparée a été remise en place dans les mêmes conditions, sans qu'on ait pu se rendre compte des causes de cet étrange accident.

Si, laissant nous-même actuellement de côté, pour y revenir, la recherche de cette cause, nous examinons la probabilité de son existence dans le cas actuel, nous sommes immédiatement amené à la repousser. La position de l'arbre de la tonne suffit à nous édifier à ce sujet : la trajectoire qu'il a suivie lors de l'explosion montre en effet que la poudre était, au moment de son inflammation, relevée contre la paroi opposée de la tonne (*fig.* 8), et si la projection horizontale de cette trajectoire n'est

Digitized by Google

pas franchement parallèle à la position normale de l'arbre, c'est uniquement parce que ce dernier a été retenu du côté du mur par son manchon, en même temps qu'il subissait une action à 45° sous l'effet de la poudre, de sorte que la direction suivie représente une composante entre l'action de la poudre qui tendait à lancer l'arbre latéralement à 45° et la résistance du manchon qui le retenait. Or, du moment où la poudre était relevée

Fig. 8.



Plan. (Échelle $\frac{1}{100}$.)

dans la tonne, celle-ci tournait et, par suite, elle était fixée à l'arbre par son fond resté intact.

Le mécanicien n'ayant, avant l'explosion, constaté dans les transmissions centrales aucun soubresaut témoignant d'une chute de câble, les désordres qui pouvaient être le résultat d'un accident de ce genre n'ont pu se produire.

Enfin, le poudrier chargé de la surveillance des usines en marche terminait à peine sa dernière visite de la ligne, et l'usine 73 marchait régulièrement quand il y était passé.

De ces diverses considérations, nous avions conclu que l'accident ne devait pas provenir d'un dérangement de mécanismes.

Restait la malveillance. Quelque monstrueuse que soit une tentative d'explosion qui doit frapper ses victimes au hasard, notre enquête devait d'autant moins s'arrêter devant la considération de son manque d'intérêt que nous avions présent à la mémoire le souvenir d'un crime de ce genre commis en 1857, dans la même poudrerie, par un malheureux qui n'avait d'autre but que de se donner, du haut de la montagne voisine, le spectacle d'une formidable explosion (1).

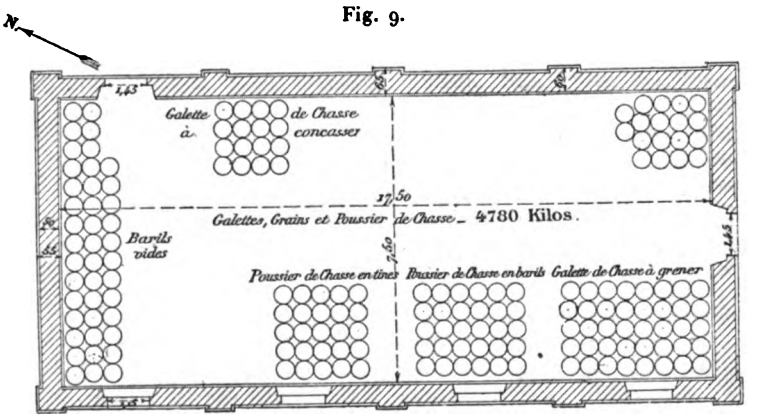
(1) Le 6 avril 1857, à 5h45m du matin, le poudrier Pradeau, chargé du concas-

Digitized by Google

Nous avons donc examiné avec le plus grand soin les différentes circonstances dans lesquelles la malveillance aurait pu s'exercer.

Le voisinage de l'étang pouvait favoriser une tentative de ce côté; mais il y a lieu de faire observer que le factionnaire, placé à l'origine du chemin sur le bord de l'étang, n'a de toute la soirée rien vu sur l'eau de ce côté, où un bateau eût dû venir, que l'accès en face de l'usine en pleine nuit dans les marécages n'était rien moins que commode et eût dû laisser des traces qui n'existent pas, que l'inflammation de la poudre dans une usine en marche n'eût été ni sans difficulté ni sans danger et qu'enfin la surveillance n'avait pas un seul instant cessé de s'exercer le long de la ligne. Cette piste a donc dû être abandonnée, pour une autre qui présentait au contraire les plus grandes facilités et consistait dans la simple introduction de quelques allumettes chimiques dans la poudre en cours de préparation pour les lissoirs. Rien de plus simple, en effet, que de profiter d'une

Fig. 9.



Dépôt des poudres de chasse n° 33. (Échelle $\frac{1}{100}$.)

absence du brigadier chargé de la garde du dépôt 33 (*fig.* 9) et notamment

---

sage à la main de la galette des meules, aperçut sur sa table, au moment où son maillet allait s'abaisser dessus, un bout phosphoré d'allumette chimique, auquel une recherche minutieuse sur la même table en fit bientôt réunir une douzaine d'autres absolument semblables, tous coupés au ciseau presque au ras de la pâte phosphorée.

L'ouvrier Moutet, immédiatement soupçonné, puis arrêté, fut bientôt absolument convaincu par la découverte, qui fut faite dans le foyer de sa cheminée, des parties détachées de bouts d'allumettes qui se juxtaposaient exactement aux bouts trouvés dans la poudre.

Le dépôt n° 1, dans lequel avait été faite la découverte, contenait l'énorme quantité de 11 000^{kg} de galette des meules.

Une explosion de 1100^{kg}, qui était survenue le 4 février précédent, sans cause

Digitized by Google

de l'heure du repos, pour entrer dans ce dépôt et enfoncer quelques allumettes dans un des barils alors réunis tout à côté de la porte d'entrée et transportés plus tard sans défiance aux lissoirs.

Or, il a été constaté par une expérience que, dans l'état atmosphérique actuel, la poudre de chasse acquiert, après une rotation de cinq heures et demie à grande vitesse dans une tonne fermée, la température de 60°, d'inflammation du phosphore (1), qui est précisément celle que la poudre devait atteindre à $2^h 30^m$ du matin, c'est-à-dire à l'heure même où l'explosion s'est produite.

Notre enquête s'est donc dirigée dans ce sens, et, comme nous avons dû naturellement écarter tous les agents que les opérations ultérieures pouvaient mettre en danger de mort, cette enquête s'est trouvée assez limitée. Ses résultats n'ont pas, toutefois, présenté assez de précision pour nous permettre de provoquer aucune poursuite et même de prononcer aucun nom. Nous avons donc dû quitter la poudrerie en invitant le directeur à continuer cette enquête, en profitant de tous les renseignements qu'il pourrait recueillir.

---

connue, dans l'usine à tonne ternaire de mine et qui avait fait cinq victimes, parmi lesquelles deux visiteurs autorisés à visiter la poudrerie, fut naturellement attribuée à la même main; mais le crime ne put être prouvé.

Il en fut de même pour la découverte faite le 11 avril, au dépôt n° 2, d'un autre bout d'allumette dans un baril à poudre qui n'avait pas été touché depuis quelque temps et devait, par suite, avoir reçu cette allumette avant l'arrestation de Moutet.

Jugé le 22 mai par la cour d'assises d'Aix, Moutet ne fut, sans doute à cause de l'avortement de celle de ses tentatives pour laquelle il était convaincu, condamné qu'à vingt ans de travaux forcés.

(1) Cette température de 60°, donnée par les ouvrages spéciaux comme étant celle de l'inflammation du phosphore, pouvait différer de la température d'inflammation des allumettes chimiques locales; on a donc fait quelques recherches pour la direction de cette dernière.

Des allumettes, posées sur une plaque de verre dans une étuve, à des températures croissantes, ne se sont enflammées qu'à 130°; mais, quand on les a laissées tomber sur la plaque d'une hauteur de 4^{cm} à 5^{cm} seulement, elles ont pris feu à 98°; de sorte que le très léger choc provenant de cette chute a suffi pour abaisser le point d'inflammation de 32°. On en a conclu que le frottement, certainement plus énergique, que produit le mouvement d'une masse de 500^{kg} de poudre dans le lissoir, animé d'une vitesse de 14 tours par minute, devait amener cette inflammation à température notablement inférieure.

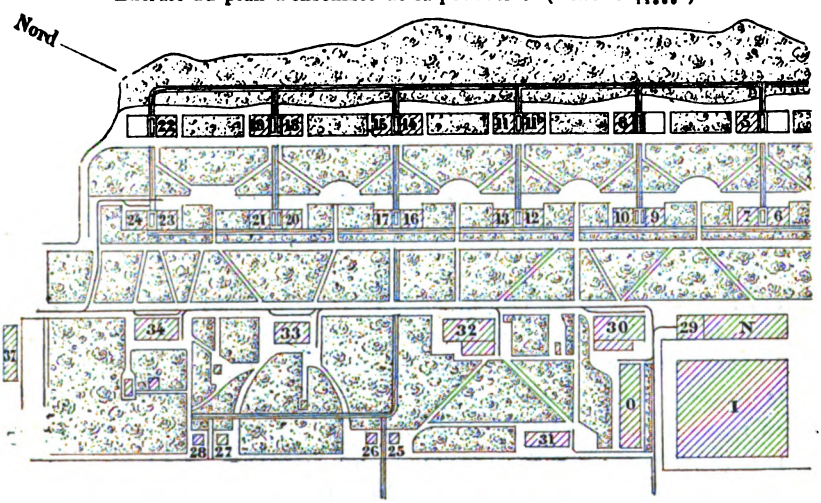
On a cherché, en outre, à obtenir des renseignements plus précis auprès du directeur des tabacs de Marseille, lequel a fait connaître que les séchoirs à allumettes ne sont pas chauffés et qu'il ne s'y produit d'inflammation qu'au cours des manipulations, quand un frottement quelconque amène l'inflammation d'une amorce. Quant à la pâte phosphorée, on la chauffe au bain-marie à 40° et jamais au delà de 45°; d'où il résulte que la température de 50° est, par les praticiens spéciaux, considérée comme excessive.

Digitized by Google

Mais nous étions à peine rentré à Paris qu'un nouveau télégramme nous apprenait, le 5 février, la découverte qui venait d'être faite de deux allumettes entières dans deux barils de poudre de mine sortant d'une des tonnes de lissage de l'usine 24, et, comme conséquence de cette découverte, la suspension complète de la fabrication des poudres noires dans l'établissement; de son côté le ministre, en même temps qu'il prescrivait

Fig. 10.

Extrait du plan d'ensemble de la poudrerie. (Échelle $\frac{1}{1000}$.)



5, 8, 11b, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, meules. — 9, tonne ternaire. — 10, tonne à grener. — 23, 24, lissoirs. — 25, 26, grenoirs à retour. — 27, 28, grenoirs à cylindre. — 29, pesage. — 30, composition. — 31, dépôt. — 32, 33, 34, dépôts. — 37, dépôt.

au directeur de saisir la justice de cette affaire, nous invitait à nous rendre de nouveau à Saint-Chamas pour y prendre toutes les mesures que comportait une si déplorable situation.

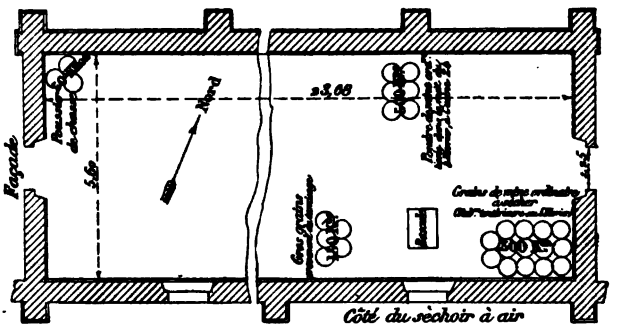
La tentative d'explosion était, cette fois, manifeste et voici, d'après le rapport du directeur, les conditions dans lesquelles elle avait dû se produire :

L'auxiliaire Angelvin, employé dans le dépôt 37 à l'égalisage des poudres de mine, venait d'entreprendre cette opération sur une lissée (14 barils) de cette poudre apportée, à la reprise du travail, de l'usine 24, où elle avait été lissée pendant la nuit et déchargée à 5h du matin; il avait tamisé deux barils sans incident et versé le contenu d'un troisième sur son tamis, et il commençait à agiter celui-ci quand il y a aperçu une allumette. Suspendant aussitôt son travail, il a remis l'allumette au brigadier Noyer

Digitized by Google

(Édouard), préposé aux transports, lequel s'est empressé d'avertir le chef poudrier Labitte. Celui-ci s'est immédiatement rendu au dépôt n° 37, où

Fig. 11.



Plan du dépôt n° 37. (Échelle $\frac{1}{100}$.)

son premier soin a été de faire mettre de côté les autres barils restant de la même lissée, opération pendant l'exécution de laquelle l'un des ouvriers qui avaient apporté les barils, l'auxiliaire Surian (Marcelin), a trouvé une seconde allumette au-dessus de la poudre d'un autre baril de cette lissée. Le chef poudrier a alors fait immédiatement suspendre, dans l'usine n° 24, le lissage de 500^{kg} de chasse, qui, mis en mouvement la veille à 5^{h} du soir, en même temps que les 500^{kg} de mine, avaient continué à tourner après le déchargement de cette dernière poudre, puis il est allé rendre compte de l'événement au directeur, auquel il a remis les deux allumettes dont toute la surface, sauf la partie soufrée sur laquelle la poudre n'a pas adhéré, est recouverte d'une couche de poudre, assez dure et polie, témoignant de leur participation au lissage probablement pendant toute la durée (dix heures) de l'opération.

Le directeur, à la suite de cette constatation, fit immédiatement arrêter les usines en marche et fermer les ateliers, dont les portes furent scellées à la cire molle, puis, ayant réuni le personnel à l'entrée de la poudrerie et lui ayant appris la tentative criminelle qui venait de se produire et montré combien la découverte du coupable importait à la sécurité du travail, il procéda à une enquête provisoire dont il remit, le lendemain, les premiers résultats aux magistrats instructeurs, avertis la veille par l'ordre du ministre.

En attendant l'arrivée de ces magistrats et celle de l'inspecteur général, le personnel fut occupé à la fabrication de la mélinite, reprise d'urgence, et à divers travaux extérieurs, parmi lesquels ceux du déblaiement de l'usine 73.

Puis, quand la fabrication des poudres noires dut être reprise, il fut dé-

Digitized by Google

cidé que cette reprise serait précédée d'un triage à la main, sur des draps, de toutes les poudres en cours de travail, et qu'elle aurait lieu dans l'ordre inverse des opérations, de façon à ne pas remettre de matières neuves en cours de fabrication avant l'épuisement des matières suspectes existant à l'état de mélange dans les dépôts et ateliers. On commença ainsi, quand ils eurent été triés, par le lissage et le séchage des grains précédemment préparés, puis on en vint, avec les mêmes précautions, au grenage des matières provenant des meules, et l'on reprit enfin le travail de ces derniers appareils. La lissée de mine, dans laquelle les allumettes avaient été trouvées et qui pouvait, par suite, contenir des parcelles de phosphore, donna lieu à des précautions spéciales : elle fut opérée au séchoir à l'air, à une température qui ne dépassa pas 30° et resta, par suite, notablement inférieure à la température d'inflammation du phosphore (60°). La tonne qui avait contenu cette lissée fut, en outre, démontée et nettoyée à fond.

En ce qui concerne l'enquête, toutes les probabilités s'accordent pour établir que les allumettes ont été mises dans l'un des onze barils apportés au dépôt 32 dans la matinée du 4 février et transportés au lissoir dans l'après-midi du même jour, et que le coup a été fait dans cet intervalle, et probablement entre midi et 2^{h}, pendant l'absence du brigadier Lauvergne, préposé à la surveillance du dépôt. Même ainsi limitée, la recherche du coupable est difficile, et nous ne nous étonnons pas que la justice, quelque intelligent et dévoué que soit le concours qu'elle a trouvé auprès du directeur, n'ait pas réussi à se faire une conviction permettant d'engager une poursuite.

L'affaire se trouve donc à peu près close, sans autre résultat que celui de faire comprendre aux poudriers la nécessité de se surveiller eux-mêmes les uns les autres; ce que nous les avons fortement engagés à faire.

Si nous revenons à l'explosion du 23 janvier, nous ne pouvons manquer de signaler la justification que la tentative du 4 février est venue apporter à l'opinion que nous avons émise ci-dessus sur la cause de cette explosion. C'est, en effet, la reproduction du même fait, dans des conditions identiques et évidemment par la même main.

Le 22 janvier, des allumettes avaient été mises dans un des barils de poudre de chasse préparés dans le dépôt 33, pour les usines de lissage de la digue, et l'usine 73 saute après neuf heures et demie de marche. Le 4 février, quatorze jours après, la même tentative se reproduit dans un des barils de poudre de mine préparés dans le dépôt 32, pour l'usine de lissage 24 de la montagne, et il faut, pour que cette usine échappe à la destruction, un concours de circonstances dont l'influence ne pouvait être appréciée à l'avance par l'auteur de ce double méfait. Ce malheureux n'avait sans doute pas été complètement satisfait du résultat obtenu le

Digitized by Google

23 janvier, et il en visait un autre qui devait être beaucoup plus complet (1), étant données la situation de l'usine et l'importance des quantités participant à l'explosion.

Quant à la différence des effets produits dans les deux cas, ce doit être une question d'humidité et surtout de température. Alors, en effet, que la chasse n'a, en entrant au lissoir, que de 2 à 3 pour 100 d'humidité et s'élève, au moment de l'explosion, après une rotation de cinq heures et demie à la grande vitesse, portes fermées, à la température de 56°, la mine débute avec 3,70 pour 100 et n'atteint, au moment du déchargement, après quatre heures de rotation, dans les mêmes conditions, que la température maximum de 37° (2), soit une vingtaine de degrés de moins, écart bien suffisant, devant toute personne connaissant l'influence de la température sur la sensibilité à la friction, pour expliquer comment les allumettes qui ont déterminé l'explosion du 23 janvier sont restées inoffensives le 5 février.

Ainsi se trouve confirmée l'hypothèse de malveillance à laquelle nous avait conduit notre enquête relative à l'explosion du 23 janvier.

Pertes. — Les pertes résultant de l'explosion ont été évaluées ainsi qu'il suit :

	fr
Bâtiments.....	17000,00
Matières.....	625,00
Ustensiles.....	265,02

Responsabilités. — L'enquête à laquelle nous avons procédé a démontré que, non seulement toutes les mesures de précaution et de surveillance susceptibles d'écarter un accident avaient été régulièrement prises, mais encore qu'un acte de malveillance avait dû être commis par un agent de l'établissement. C'est donc à la justice civile qu'il appartient de rechercher et de punir le coupable, et l'administration de la poudrerie doit s'effacer

---

(1) L'usine 73, située au bord de l'étang et ne contenant qu'une tonne, soit 500kg de poudre, ne pouvait produire que des effets limités, tandis que l'usine 24, située à proximité de vastes et lourds dépôts qui contiennent des quantités considérables de poudre et en face de la montagne, qui présente, à une distance de 45m, une paroi verticale de 29m de hauteur et contenant, même avec l'inaction de trois de ses tonnes, 1000kg de poudre, menaçait, comme il a été dit au début de ce rapport, la poudrerie d'un véritable cataclysme.

(2) Expérience faite le 12 février 1892, sur une lissée de mine :

	°
Après deux heures de rotation, petite vitesse, portes fermées.....	18
Après quatre heures de rotation, grande vitesse, portes fermées.....	37
Après un quart d'heure de rotation, grande vitesse, portes ouvertes....	30
Après trois heures trois quarts de rotation, grande vitesse, portes ouvertes.....	27

Digitized by Google

devant l'instruction qui se poursuit. Nous devons ajouter que nous n'avons relevé, à la charge du personnel supérieur de l'établissement, aucun acte de nature à expliquer l'existence, dans le personnel inférieur, non seulement d'une idée de vengeance quelconque, mais même d'aucun mécontentement sérieux. Le chef poudrier, notamment, qui est en contact permanent avec les ouvriers, a pour eux toute la bienveillance désirable.

En résumé, l'explosion du 23 janvier doit être considérée comme le résultat d'un acte de malveillance, dont l'auteur doit être recherché et puni, mais qu'il n'a pas, en dehors du coupable encore inconnu, dépendu du personnel de la poudrerie de prévoir ou d'empêcher. Ce personnel, qui s'est, du reste, aussi bien à la suite de l'explosion du 23 janvier qu'à la suite de la découverte du 5 février, montré à la hauteur de tous ses devoirs, doit donc être déchargé de toute responsabilité dans l'explosion dont les pertes doivent, sous la réserve à faire vis-à-vis de l'auteur du crime, incomber exclusivement à l'État.

Propositions. — L'explosion du 23 janvier a montré combien était sage la mesure qui a tranféré les lissoirs et séchoirs sur le bord de l'étang, où ils sont devenus inoffensifs pour le voisinage; quant à ses effets, ils justifient entièrement le mode de construction adopté.

L'usine 73 doit donc être rétablie dans les mêmes conditions, avec la seule précaution d'en consolider la partie supérieure, en renforçant la voûte du cabinet, en multipliant et en ancrant plus solidement à leurs extrémités les fers I qui relient les murs l'un à l'autre. La même recommandation est faite pour la ligne inférieure des fers I, et l'on réaliserait sans doute l'abri que les ouvriers tendent à chercher dans le cabinet, en réunissant, dans toutes les parties où la présence des mécanismes ne s'y oppose pas, ces fers I par des voûtelettes en briques. Enfin, on atténuerait sans doute l'effet d'une explosion sur la partie supérieure des murs, si l'on rapprochait du fond de l'usine la tonne, actuellement trop voisine de la devanture.

Quant aux coffrages, qui constituent un obstacle provisoire aux projections latérales, en attendant la végétation qu'il faut tendre à développer le plus rapidement possible, leur reconstruction semble nécessaire avec de meilleures fondations, qui permettent de leur rendre la garniture de terre dont l'absence a été la cause de toutes les projections latérales.

Bien qu'il soit permis d'espérer que la consolidation de la masse des maçonneries postérieures des usines permettra à celles-ci de résister à une explosion, il convient d'en prévoir encore le renversement et, par suite, d'assurer au chemin de service la sécurité qui lui fait actuellement défaut. Ce chemin serait donc utilement reporté à quelques mètres plus loin de la ligne d'usines, surtout si, comme il est probable, la consolidation des ma-

Digitized by Google

çonneries postérieures doit actuellement se borner à l'usine à reconstruire.

La modification de la transmission centrale des nouveaux lissoirs, qui doit permettre de supprimer définitivement le service de la redoutable usine 24, ne doit pas être plus longtemps retardée.

Il faut que la rupture du fond central de la tonne de l'usine 74 soit expliquée, puisque c'est là un fait qui intéresse la sécurité de toutes les usines pourvues du même appareil; la commission centrale de fabrication des poudres, sera donc utilement saisie de l'examen de cette question, examen en vue duquel la tonne récemment démontée à l'usine 72 de la poudrerie de Saint-Chamas devra être envoyée à la poudrerie de Sevran-Livry.

Enfin, il n'échappera pas au directeur de la poudrerie de Saint-Chamas que les précautions ordinaires deviennent insuffisantes dans les circonstances qu'il traverse, et ce fonctionnaire ne manquera pas de recourir à toutes les mesures susceptibles de rendre ses consignes efficaces.

Paris, le 12 mai 1892.

L'inspecteur général des poudres et salpêtres,
G. MAUROUARD.

N° 164.

MAINTIEN DE L'EMPLOI DU GRENOIR A RETOUR DANS LA FABRICATION DES POUDRES. PRÉCAUTIONS ET MESURES A PRENDRE A CE SUJET.

(Lettre collective n° 14.)

Paris, le 6 septembre 1892.

Messieurs, les rapports qui m'ont été adressés sur le remplacement du grenoir à retour, conformément aux prescriptions du dernier paragraphe de la lettre collective n° 9 du 29 août 1891, ont été renvoyés à l'examen de la commission de fabrication des poudres, qui, après les avoir résumés et discutés, a formulé, dans un rapport en date du 25 mai 1892, ses avis et conclusions sur la question soulevée à l'occasion de l'explosion survenue le 17 janvier 1891, à la poudrerie de Vonges.

Je vous adresse, ci-joint, le rapport de la commission, qui conclut au maintien du grenoir à retour.

Digitized by Google

En outre des considérations exposées dans ce rapport, il convient de remarquer que prescrire le remplacement du grenoir à retour par la tonne-grenoir ou le grenoir à cylindres, ce serait aller à l'encontre de la règle qui est appliquée avec persévérance depuis quinze ans dans le service des poudres et salpêtres, à l'effet de diminuer la gravité des conséquences des explosions, et qui consiste à réduire, autant que possible, la quantité de matière explosible contenue dans toute usine pourvue d'appareils mécaniques.

Le grenoir à retour, dont l'emploi permet de limiter à 30^{kg} environ la quantité de poudre contenue dans l'usine, satisfait beaucoup mieux à cette règle que la tonne-grenoir ou le grenoir à cylindres, dont la charge est de beaucoup supérieure, et paraît, par suite, devoir leur être préféré, sauf à améliorer son fonctionnement et à appliquer, dans la limite compatible avec la bonne exécution du service, les mesures propres à protéger les ouvriers contre les dangers résultant du travail.

J'ai, en conséquence, approuvé les conclusions de la commission de fabrication, qui consistent à conserver le grenoir à retour et à prendre, pour son installation et son emploi, les précautions mentionnées par le rapport.

MM. les directeurs des poudreries qui sont pourvues de grenoir à retour me feront connaître les dispositions qui devront être adoptées pour assurer l'observation de ces diverses précautions dans l'établissement qu'ils dirigent.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

COMMISSION DE FABRICATION DES POUDRES.

RAPPORT

sur un projet de remplacement du grenoir à retour.

A la suite de l'explosion survenue le 17 janvier 1891, dans le grenoir à retour n° 12 de la poudrerie de Vonges, M. l'inspecteur général Maurouard

Digitized by Google

avait demandé qu'une étude fût entreprise dans chaque poudrerie, en vue du remplacement du grenoir à retour par un autre appareil.

Des essais furent en conséquence prescrits à toutes les poudreries par la lettre collective n° 9 du 29 août 1891, et les rapports auxquels ils ont donné lieu ont été transmis, le 5 mars 1892, à la commission de fabrication, à laquelle le ministre a demandé de formuler les conclusions définitives qu'on pouvait en tirer.

Les avis émis dans ces rapports peuvent se résumer comme il suit :

A Angoulême, le directeur condamne d'une manière absolue le grenoir à retour, qu'il considère comme un appareil dispendieux, mal établi, nécessitant un matériel encombrant, propre seulement au grenage des matières de faible densité, mais insuffisant dès qu'on augmente la dureté des matières; il estime qu'il est inutile de chercher à modifier une machine reconnue dangereuse et propose, en conséquence, de la remplacer par le grenoir à cylindres, du type adopté en France, qui doit donner, pour les matières galetées à la presse, des rendements très supérieurs à ceux du grenoir à retour.

A Toulouse, la comparaison expérimentale, faite avec soin sur le grenoir à retour et le grenoir à cylindres en bois, n'a fait ressortir aucun avantage bien marqué pour l'un ou l'autre de ces appareils; les rendements du grenoir à cylindres seraient moins élevés, mais, néanmoins, le prix de la main-d'œuvre qu'il exige serait plus faible que pour le grenoir à retour; d'un autre côté, la diminution des rendements entraînerait un accroissement du prix de la main-d'œnvre des meules. Il n'y aurait donc à considérer que la question de sécurité, que la poudrerie de Toulouse estime suffisante pour conduire au remplacement du grenoir à retour par le grenoir à cylindres; ce dernier appareil ne demandant que cinq heures de marche, tandis que le premier en demande dix pour grener 1000^{kg} de galette, la poudrerie de Toulouse en conclut que l'emploi du grenoir à cylindres réduira de moitié, de ce seul chef, les dangers d'explosion.

Il faut noter, à ce sujet, que la poudrerie de Toulouse n'a jamais eu d'explosions de grenoir à retour, bien qu'elle possède deux de ces appareils, tandis qu'elle a eu, en 1884, une explosion du grenoir à cylindres système Grüson.

Le directeur de Saint-Ponce est d'avis que le grenoir à retour est un appareil d'une conception ingénieuse, d'un rendement satisfaisant et d'une installation peu compliquée; il pense toutefois que la consigne donnée aux ouvriers, de ne pénétrer dans l'usine qu'après avoir arrêté le mécanisme est de nature à augmenter le nombre des explosions et il propose, en conséquence, l'essai d'un grenoir à deux paires de cylindres en bronze;

Digitized by Google

mais cet appareil sera presque aussi compliqué que le grenoir Grüson et semble devoir présenter les mêmes inconvénients.

Le directeur de la poudrerie de Vonges reconnaît que les conditions de sécurité du grenoir à retour seront considérablement améliorées si l'on place le surveillant à l'abri des murs forts et si on lui prescrit de n'entrer dans l'usine qu'après avoir arrêté la marche de l'appareil; il estime que, dans ces conditions, la production ne sera pas diminuée autant qu'on pourrait le croire et sera encore suffisante pour assurer l'exécution des commandes; néanmoins, il propose de remplacer le grenoir à retour de la poudrerie de Vonges par trois tonnes-grenoirs, lesquelles lui paraissent devoir présenter moins de chances d'accidents.

Le rapport de la poudrerie du Ripault établit simplement la possibilité du remplacement du grenoir à retour par les tonnes-grenoirs, mais n'émet aucune opinion sur l'opportunité de ce remplacement.

Le directeur de Saint-Chamas pense que le grenoir à retour est l'appareil qui convient le mieux, parmi tous ceux qui existent en France, au grenage des poudres de chasse, et, comme les explosions paraissent surtout à craindre avec les poudres superfine et extrafine, il propose de conserver le grenoir à retour pour la poudre de chasse ordinaire et d'employer le grenoir à cylindres pour les deux autres espèces.

A Sevran, on a trouvé que les rendements de la tonne-grenoir et du grenoir à cylindres en bois étaient bien inférieurs à ceux du grenoir à retour, que les autres appareils en usage à l'étranger, et notamment les grenoirs anglais, présentaient au moins autant de chances d'explosion que le grenoir à retour, et l'on a conclu, en définitive, à la conservation de ce dernier appareil, en signalant, toutefois, qu'il fallait prendre les mesures nécessaires pour assurer son bon fonctionnement et pour mettre les ouvriers à l'abri d'une explosion.

Enfin, à Esquerdes, le directeur n'émet aucun avis et se contente de renvoyer aux études faites antérieurement sur le grenoir Grüson, lesquelles n'ont pas été communiquées à la commission.

Il est assez difficile de dégager de ces divers rapports des conclusions un peu nettes, et il semble, en conséquence, nécessaire d'examiner avec soin les circonstances dans lesquelles se sont produites les explosions du grenoir à retour, pour tâcher d'en tirer quelque enseignement.

Comme l'a rappelé M. l'inspecteur général Maurouard, dans son rapport du 1er février 1891, le premier grenoir à retour a été installé, en 1826, à la poudrerie du Bouchet.

Depuis cette époque, les appareils de cette espèce ont donné lieu à 19 explosions dans les poudreries ci-après :

Le Bouchet..... 1 explosion en 1828

Digitized by Google

Esquerdes	5	explosions	de 1844 à 1878
Saint-Chamas	5	»	1853 à 1883
Metz	2	»	1857 à 1863
Saint-Ponce	2	»	1870 à 1887
Vonges	2	»	1875 à 1891
Angoulême	1	»	en 1880
Le Ripault	1	»	1882

Au point de vue de la nature des matières grenées au moment de l'accident, ces explosions se décomposent comme il suit :

Poudre de chasse fine	6
» extrafine	10
Poudre F_1	1
Poudre inconnue	2

Dans la plupart des cas, on a attribué la cause de l'explosion à la présence de corps étrangers, graviers, etc., que l'on trouve fréquemment dans les tamis du grenoir, ou à la marche à vide d'un tamis et à l'échauffement que produit alors le frottement direct du tourteau sur la plaque guillaume; à l'appui de cette dernière hypothèse, on a invoqué ce fait que l'on retrouvait presque intactes, parmi les débris de l'explosion, les parties supérieures d'un ou de deux tamis du grenoir; mais, en réalité, les causes des explosions n'ont pu être déterminées d'une façon précise, et, par conséquent, ce qu'on peut seulement affirmer, c'est d'abord que les accidents sont très inégalement répartis sur l'ensemble des établissements, puis, qu'ils se sont produits plus fréquemment avec la poudre extrafine.

Sur les 19 explosions rappelées plus haut, 5 ont eu lieu en effet à Esquerdes et 5 à Saint-Chamas, soit plus de la moitié dans ces deux seules poudreries; un certain nombre d'établissements, comme Toulouse, Sevran, le Pont-de-Buis et Saint-Médard, n'en ont jamais eu; Angoulême n'en a eu qu'une seule, et on ne peut l'attribuer à un défaut inhérent au fonctionnement du grenoir, car elle s'est produite à la mise en train, alors que l'appareil ne marchait qu'à une vitesse de 15 tours environ par minute; le Bouchet n'en a eu également qu'une seule, au moins de 1828 à 1866, date à laquelle s'arrête pour cette poudrerie le relevé du service des poudres.

Or, il est impossible d'admettre que, dans une période aussi longue, les établissements restés indemnes n'ont pas, comme les autres, travaillé des matières contenant des graviers ou des corps étrangers, que leurs ouvriers ont été constamment plus soigneux et plus attentifs que ceux d'Esquerdes et de Saint-Chamas, en un mot que ces établissements n'ont pas été soumis aux mêmes chances d'accidents, si ces accidents tiennent à une cause provenant du principe même et du mode de fonctionnement de l'appareil.

D'un autre côté, nous savons pertinemment que les différences d'installa-

Digitized by Google

tion des grenoirs à retour dans les diverses poudreries étaient souvent considérables : les excentricités des arbres coudés, le mode de construction des tamis, la forme des boîtes en bronze par l'intermédiaire desquelles le mouvement se transmet au châssis, variaient d'une poudrerie à l'autre; les tamis eux-mêmes n'étaient pas identiques; les transmissions par courroies horizontales, qui sont si défectueuses, ont été fréquemment employées; les moteurs, composés souvent d'une roue hydraulique ne commandant qu'un seul grenoir, étaient difficiles à régler, et leur vitesse pouvait rapidement changer avec l'état de chargement des tamis, etc., etc.; c'est donc surtout aux différences d'installation qu'il semble rationnel d'attribuer l'inégale répartition des accidents.

Les dangers provenant d'une installation défectueuse peuvent d'ailleurs avoir été augmentés dans certains cas par l'état des matières à grener.

Le relevé des explosions montre, en effet, que le grenage de la poudre extrafine a donné lieu à 10 explosions sur 19, c'est-à-dire à plus de la moitié des accidents, bien que la quantité de poudre de cette espèce fabriquée en France ait toujours été très minime par rapport à celle des autres poudres de chasse.

Ce grenage de galettes dures présente donc des dangers particuliers, et cela se comprend si l'on remarque qu'il exige, entre les chargements successifs, des durées considérables et que, dans la plupart des établissements, on l'opérait toujours à une vitesse plus grande; l'augmentation de la durée de grenage d'une charge expose à des variations de vitesse de l'appareil, par suite des modifications que subit soit le cours d'eau, soit le chargement des tamis, et ces variations peuvent plus facilement échapper à la surveillance des ouvriers, dont l'intervention n'est plus nécessaire qu'à des intervalles assez éloignés et dont l'attention est, par suite, beaucoup moins soutenue qu'avec les poudres pour lesquelles les chargements sont fréquents; quant à l'accroissement de la vitesse normale de l'appareil, il est évident qu'il doit rendre plus graves les causes de danger dues aux défauts d'installation.

Les procédés de fabrication ayant beaucoup varié d'une poudrerie à l'autre, les duretés inégales des matières à grener ont donc pu créer aussi des différences assez notables au point de vue des chances d'accidents.

Mais, en tout cas, le fait que quatre poudreries n'ont jamais eu d'explosion de grenoir à retour, et que celle d'Angoulême n'en a eu qu'une seule, qu'il paraît impossible d'attribuer au fonctionnement même de l'appareil, ne permet pas de croire que ce grenoir offre par lui-même plus de danger que la plupart des appareils de fabrication.

Il importe évidemment qu'il soit bien installé, avec toutes les précautions dont l'expérience a montré l'utilité, tant au point de vue de l'appa-

Digitized by Google

reil proprement dit qu'à celui des transmissions, que la vitesse du moteur soit régulière et, enfin, que la surveillance soit convenablement faite; mais ce ne sont là que des conditions communes à tous nos appareils de fabrication.

Quand elles sont remplies, le grenoir à retour présente le grand avantage de permettre d'assurer la sécurité du personnel chargé du service de l'usine, ce qu'il serait bien difficile d'obtenir, sans complications d'appareils, avec les tonnes-grenoirs ou les grenoirs à cylindres, lesquels exigent, avec leurs dispositions actuelles, la présence dans l'usine de deux ouvriers au moins, et souvent de trois.

Il faut encore ajouter qu'il n'est nullement certain que les tonnes-grenoirs et les grenoirs à cylindres ne donneraient pas lieu, quand ils seraient employés au grenage des poudres de chasse, à des accidents aussi répétés que le grenoir à retour; ces appareils n'ont, en effet, servi jusqu'ici qu'au grenage de matières molles et humides ou de matières de poudres brunes offrant beaucoup moins de dangers d'inflammation que les galettes de poudre de chasse; les avantages qu'on leur attribue au point de vue de la sécurité ne reposent donc que sur des hypothèses.

Pour le grenoir à cylindres, en particulier, il est à prévoir que l'on serait obligé de remplacer les cylindres en bois par des cylindres métalliques, si l'on voulait s'en servir d'une manière continue pour le grenage des poudres de chasse, et l'on serait ainsi conduit à adopter, pour sa construction, des dispositions analogues à celles des appareils anglais, lesquels sont considérés comme très dangereux.

En résumé, la commission est d'avis que la statistique des explosions de grenoir à retour semble bien montrer que cet appareil ne présente pas, par lui-même, des causes spéciales d'accidents susceptibles de le faire regarder comme plus dangereux que la plupart des appareils de fabrication dans lesquels on emploie des matières à faible humidité, et que la majeure partie des explosions auxquelles il a donné lieu tiennent probablement à des défauts d'installation qu'il est possible d'éviter.

Considérant d'ailleurs que ce grenoir offre le grand avantage de permettre d'assurer la sécurité du personnel d'une manière à peu près complète et, en tout cas, très supérieure à celle que l'on peut obtenir avec les grenoirs à cylindres ou les tonnes-grenoirs, et qu'il se prête certainement au moins aussi bien que tous les autres appareils essayés dans le service des poudres à la fabrication des divers numéros de poudres de chasse noires, la commission estime qu'il y a lieu de le conserver pour le grenage de ces poudres.

Les précautions à prendre pour son installation et son emploi sont les suivantes :

Digitized by Google

1° Établir le grenoir d'après le dernier modèle réglementaire, adopté par la poudrerie de Sevran;

2° Installer le moteur de manière à obtenir la plus grande régularité possible de vitesse et fixer cette vitesse à 75 tours par minute;

3° Interdire formellement aux ouvriers chargés de la surveillance de pénétrer dans l'usine avant d'avoir arrêté l'appareil;

4° Construire l'usine de façon à assurer la résistance des murs forts en cas d'explosion et à mettre à l'abri de ces explosions le surveillant qui devra se tenir constamment, pendant la marche, derrière ces murs forts.

Paris, le 21 mai 1892.

Le rapporteur :
H. LAMBERT.

Adopté par la commission de fabrication des poudres dans sa séance du 21 mai 1892.

Le secrétaire :
E. DÉSORTIAUX.

Le président :
G. MAUROUARD.

N° 165.

COUP DE FOUDRE A LA POUDRERIE NATIONALE DU RIPAULT.

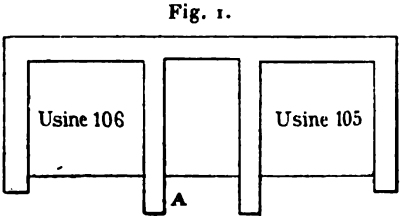
(Lettre collective n° 15.)

Paris, le 10 septembre 1892.

Messieurs, le directeur de la poudrerie nationale du Ripault, m'a rendu compte, dans les termes ci-après, d'un coup de foudre qui s'est produit dans cet établissement :

Pendant un orage qui a éclaté, le 9 août dernier, au-dessus de la pou-

Fig. 1.



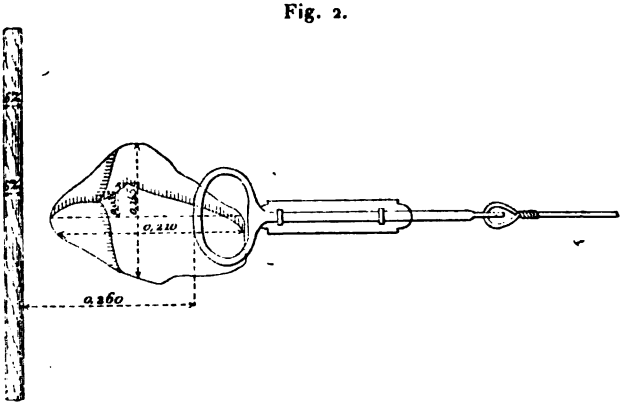
drerie, la foudre est tombée sur le fil de fer de 3^{mm} de diamètre qui relie le groupe d'usines à meules 105-106 au timbre placé dans le bâtiment des

Digitized by Google

machines de 25 chevaux. L'électricité a suivi le fil jusqu'à la poignée placée contre le mur de refend sud-est, en avant du cabinet des transmissions, et une étincelle de $0^m,26$ de longueur s'est produite entre cette poignée et le fil de terre du paratonnerre du groupe, au point marqué A dans le dessin (*fig.* 1).

La décharge a produit un arrachement de $0^m,035$ de profondeur dans la pierre tendre à laquelle est fixée la poignée, arrachement dont le con-

Fig. 2.



tour est représenté au croquis ci-dessus (*fig.* 2). Les éclats ont été projetés à $4^m,55$ de distance, contre le mur de refend nord-ouest.

Dès le moment où l'orage s'était rapproché de la poudrerie, les usines du groupe 105-106, ainsi que les autres usines, avaient été arrêtées et les conducteurs de ces usines, ainsi que les ouvriers qui étaient occupés dans les autres bâtiments contenant de la poudre, avaient été conduits aux réfectoires. Le chauffeur qui était dans le bâtiment *a-q* (lampisterie) dit avoir vu la foudre tomber sur le fil de la sonnette du groupe 105-106.

Des communications métalliques vont être établies entre les poignées des sonnettes des quatre groupes actionnés par les machines de 25 chevaux et les conducteurs des paratonnerres de ces usines.

Les faits signalés me conduisent à appeler l'attention de MM. les directeurs des établissements sur l'utilité que paraissent présenter les mesures de précaution suivantes, tendant à restreindre les chances d'accident qui peuvent résulter des coups de foudre, savoir :

1° Arrêter momentanément tout travail dans les usines à poudre et en faire sortir les ouvriers quand l'état orageux de l'atmosphère peut menacer la sécurité de ces usines;

Digitized by Google

2° Relier, par un fil spécial, aux conducteurs des paratonnerres voisins toutes les pièces métalliques, en saillie à l'extérieur des bâtiments, qui, par l'importance de leurs dimensions, seraient susceptibles d'attirer la foudre.

MM. les directeurs me feront connaître, à bref délai et en m'accusant réception de la présente lettre collective, les dispositions qu'ils comptent prendre pour assurer l'exécution des prescriptions qu'elle renferme; ils feront établir ensuite, s'il y a lieu, et m'adresseront, le plus tôt possible, le projet des travaux à faire à cet effet dans l'établissement qu'ils dirigent.

C. DE FREYCINET.

N° 166.

RUPTURE D'UNE TONNE DE LISSAGE A LA POUDRERIE DE SAINT-CHAMAS.

(Lettre collective n° 17.)

Paris, le 27 novembre 1892.

Messieurs, M. l'inspecteur général Maurouard, dans son rapport sur l'explosion survenue le 23 janvier 1892, à l'usine n° 73 de la poudrerie nationale de Saint-Chamas, a signalé une rupture du fond médian d'une tonne-lissoir, qui s'était produite en décembre 1890, à l'usine n° 74 de la même poudrerie, dans des conditions mal expliquées, et, tout en reconnaissant que l'explosion de l'usine n° 73 ne pouvait pas être attribuée à une rupture analogue, il a demandé que la commission de fabrication des poudres fût chargée d'examiner le mode de construction des tonnes de Saint-Chamas et de rechercher les mesures propres à éviter la reproduction de semblables accidents.

J'ai accepté cette proposition et fait envoyer à ladite commission, aux fins d'examen, un fond de tonne récemment démonté à la poudrerie de Saint-Chamas.

Je vous adresse, ci-joint, le rapport établi par ladite commission à la suite de son étude, rapport dont j'ai approuvé les conclusions. Vous devrez donc employer exclusivement, pour la con-

Digitized by Google

fection des tonnes-lissoirs, du bois de chêne de première qualité, bien sain et bien sec, adopter les épaisseurs et le mode de confection de la tonne type qui a été envoyée à toutes les poudreries, et veiller à ce que l'état des fonds des tonnes soit fréquemment vérifié.

Je vous prie de m'accuser réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

COMMISSION DE FABRICATION DES POUDRES.

RAPPORT

sur l'examen d'une tonne de lissage de la poudrerie nationale de Saint-Chamas.

Sur la demande de M. l'inspecteur général Maurouard, M. le ministre de la guerre a prescrit l'envoi à la poudrerie de Sevran d'une tonne-lissoir, récemment démontée à la poudrerie de Saint-Chamas, et a chargé la commission de fabrication de procéder à l'examen de cet appareil, en vue de rechercher les causes d'une rupture qui s'est produite dans la même poudrerie sur une tonne semblable.

D'après le rapport du 12 mai 1892, la tonne de lissage de l'usine n° 74 de cette poudrerie s'est en effet, au mois de décembre 1890, séparée des plateaux en bronze qui la fixaient sur l'arbre et, supportée par les orifices centraux de ses panneaux de fermeture, elle s'est déplacée dans le sens de la longueur de l'arbre et est venue frotter contre la paroi latérale de la trémie de déchargement. La rupture s'était faite circulairement, avec quelques arrachements tout autour des manchons en bronze. Le bois, examiné, a été jugé sain et la tonne, réparée, a été remise en place dans les mêmes conditions, sans qu'on ait pu se rendre compte des causes de cet étrange accident.

Le directeur de la poudrerie de Saint-Chamas n'a pu envoyer une tonne complète, comme l'indiquait l'ordre ministériel, et le plateau central en bois de cette tonne est seul parvenu à la commission.

Ce plateau, qui n'a que 45^{mm} d'épaisseur au lieu de 50^{mm}, est en noyer garni de moulures en chêne formant cornières; la portion voisine de l'arbre en fer a disparu; le bois, dans toute la partie serrée entre les deux manchons en bronze, présente les effets bien connus d'une altération par

Digitized by Google

oxydation, allant en diminuant à partir du centre et plus profonde sur le pourtour des plateaux où l'humidité des matières en cours de lissage avait un accès plus facile; en dehors des plateaux en bronze, ce bois est sain.

Il est visible que la partie centrale du plateau a commencé à subir le phénomène ordinaire d'un échauffement, dont la rapidité est susceptible d'être assez grande, à cause de la température assez élevée et de l'humidité qui se développent à l'intérieur des tonnes de lissage, et peut-être aussi par suite d'une action électrique provenant du contact du bronze des manchons avec l'arbre en fer.

Le bois de noyer employé par la poudrerie de Saint-Chamas est d'ailleurs plus tendre et plus sujet à l'échauffement que le chêne dont on se sert dans les autres établissements pour la confection des tonnes; mais le même phénomène aurait pu se produire avec des plateaux de chêne de mauvaise qualité.

Les tonnes de lissage du modèle de celles de Saint-Chamas étant en service dans les poudreries depuis un grand nombre d'années sans que des faits du même genre aient été signalés dans d'autres établissements, il semble que l'accident constaté peut être facilement évité par l'application des règles ordinairement suivies pour la confection de ces tonnes.

La Commission est donc d'avis qu'il y a lieu de rappeler simplement aux directeurs des poudreries que le plateau central des tonnes de lissage doit être, comme le reste de la tonne, confectionné en chêne de première qualité, bien sain et bien sec; lors des nettoyages des tonnes, il est, en outre, nécessaire de s'assurer de l'état de ce plateau, surtout au pourtour des manchons en bronze sur lesquels il est fixé.

Paris, le 15 novembre 1892.

Le rapporteur,
LAMBERT.

Adopté par la Commission de fabrication des poudres, dans sa séance du 15 novembre 1892.

Vu :
Le président,
BIFFE.

Le secrétaire,
DÉSORTIAUX.

Digitized by Google

N° 167.

MESURES A PRENDRE CONTRE L'ACTION DE LA FOUDRE SUR LES CABLES MÉTALLIQUES, LES POULIES-CABLES ET LEURS SUPPORTS.

(Lettre collective n° 18.)

Paris, le 24 novembre 1892.

Messieurs, par lettre collective n° 15 du 10 septembre 1892, j'ai porté à votre connaissance le compte rendu d'un coup de foudre qui s'était produit, le 9 août précédent, à la poudrerie du Ripault, et, dans le but d'éviter le renouvellement de semblables phénomènes à proximité des usines à poudre, j'ai prescrit de relier aux conducteurs des paratonnerres voisins les pièces métalliques de quelque importance placées en saillie à l'extérieur de ces bâtiments.

Parmi ces pièces se trouvent les poulies-câbles et leurs supports qui, d'une part, sont séparés du sol par des maçonneries peu conductrices et qui sont, d'autre part, reliés d'un bâtiment à l'autre par des câbles métalliques paraissant susceptibles de jouer un rôle analogue à celui du fil de sonnette de la poudrerie du Ripault, dans l'accident du 9 août.

Il m'a paru nécessaire de prendre des mesures pour obvier au danger qui résulterait d'une décharge violente de l'électricité atmosphérique sur ces organes, surtout lorsque les arbres de transmission portant les poulies-câbles pénètrent dans l'intérieur des usines, et j'ai demandé à la commission de fabrication de faire l'étude des meilleures dispositions à adopter pour leur préservation.

Cette commission a formulé ses conclusions dans les termes suivants :

Il y a lieu d'établir des conducteurs semblables à ceux des paratonnerres, entre les paliers des arbres des poulies-câbles et la nappe d'eau souterraine ou les conduites d'eau dont les poudreries sont ordinairement pourvues; ces conducteurs, établis suivant les règles ordinaires, seraient, bien entendu, reliés au circuit existant, si l'usine en possédait déjà un.

Digitized by Google

J'ai adopté cet avis et j'invite les directeurs des établissements comportant l'emploi des câbles télédynamiques à faire préparer, pour l'établissement de communications métalliques entre les supports des poulies-câbles et la terre, un projet qui sera soumis à l'examen de M. l'inspecteur général, lors de sa prochaine inspection.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

C. DE FREYCINET.

N° 168.

ARRÊTÉ DU 6 FÉVRIER 1893,

fixant les prix de vente des poudres à feu destinées à l'exportation.

(Inséré au *Journal officiel* du 10 février 1893.)

LE MINISTRE DES FINANCES,

Vu le décret du 21 mai 1886 relatif à l'exportation des poudres à feu;

Vu l'arrêté du 26 mai 1886;

Vu la lettre du ministre de la guerre, en date du 29 décembre 1892;

Vu la lettre du directeur général des contributions indirectes, en date du 6 janvier 1893;

Vu les traités des 20 novembre 1815 et 24 mars 1860, qui ont placé le pays de Gex et la partie neutralisée de la Haute-Savoie en dehors de la ligne des douanes,

ARRÊTE :

ARTICLE PREMIER. — Les prix des poudres à feu destinées à l'exportation (1) sont fixés ainsi qu'il suit, pour toute commande dont la valeur atteint au moins 100^{fr} :

(1) L'exportation s'entend des envois à l'étranger ou dans les colonies et possessions françaises, l'Algérie et la Tunisie exceptées.

Digitized by Google

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX par kilogramme à payer par l'exportateur.	OBSERVATIONS.
			fr c	
Poudres de commerce extérieur.....	ordinaire.....		0,625	Y compris l'emballage pour les barillages non plombés contenant au moins 11kg,25.
	forte.....		0,66	
Poudres de mine	ordinaire...	ronde.....	0,75	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu, à l'état de cartouches comprimées ou à celui de mèches de sûreté.
		anguleuse...	0,80	
		fin grain....	1,20	
	forte.....	ronde.....	0,80	
		anguleuse...	0,85	
		fin grain....	1,25	
	lente.....	grenée.....	0,65	
		non grenée..	0,65	
	au nitrate d'ammoniaque.		1,50	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état de cartouches comprimées.
	au nitrate de soude.....		0,80	
	Cartouches comprimées au coton-poudre et au nitrate d'ammoniaque	N° 1....	2,20	Non compris l'encaissage.
		N° 2....	2,50	
Poudres de guerre	Ancienne fabrication (1)...		1,00	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu ou à l'état de cartouches ou de pièces d'artifices.
	Nouveaux types (2)	à canon	noires.	1,40	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état nu ou de munitions confectionnées.
			brunes	1,75	
		à fusil.....		1,50	
	dites BN (3) à canon et à fusil.			9,00	

(1) Cette désignation s'applique aux anciens types *dits* à canon et à mousquet.

(2) L'exportation de ces poudres pourra être suspendue par un arrêté du ministre de la guerre.

(3) Les poudres de guerre *dites* BN sont des poudres à grande puissance balistique, destinées aux fusils de petit calibre et aux canons de tous calibres. L'exportation pourra en être suspendue par arrêté ministériel.

Digitized by Google

ESPÈCES DE POUDRES.			PRIX par kilogramme à payer par l'exportateur.	OBSERVATIONS.
			fr c	
Poudres de chasse	livrées en boîtes.	ordinaire (fine)..	2,00	Non compris l'encaissage. Destinées à être exportées en boîtes ou à l'état de cartouches.
		forte (superfine)..	2,75	
		spéciale (extra-fine).....	3,25	
	livrées à nu dans des barils.	ordinaire (fine)..	1,50	Non compris l'emballage. Destinées à être exportées à l'état de cartouches.
		forte (superfine).	1,75	
		spéciale (extra-fine).....	2,00	
	pyroxylées, livrées en boîtes.		14,00	Non compris l'encaissage. Destinées à être exportées en boîtes, à l'état nu ou à l'état de cartouches.
Coton azotique (pour dynamites).....			5,25	Non compris l'encaissage.
Coton-poudre de guerre (1)....	en charges comprimées		6,50	
	en pâte.....		4,50	

(1) L'exportation du coton-poudre de guerre pourra également être suspendue par un arrêté du ministre de la guerre.

ART. 2. — Les types de poudre de guerre dont l'exportation est autorisée sont les suivants :

Anciens types : poudres de guerre *dites* à canon et à mousquet;

Nouveaux types : poudres à canon noires : C_1, C_2, SP_1, SP_2, A 26/34, A 30/40, R, prismatiques; brunes : prismatiques PB;

Poudres à fusil F_1, F_2, F_3;

Poudres BN à canon et à fusil;

Coton-poudre de guerre en charges comprimées ou en pâte.

ART. 3. — Les prix d'exportation fixés pour les poudres de mine, de guerre, de chasse et pour le coton azotique sont applicables aux explosifs de même espèce vendus par la régie dans le pays de Gex et dans la zone neutralisée de la Haute-Savoie.

Digitized by Google

ART. 4. — Les poudres de commerce extérieur, vendues exclusivement pour l'exportation par la voie maritime, pourront être livrées en barillets, dont les contenances sont indiquées au tableau ci-après, avec les plus-values par 100kg de poudre.

DÉNOMINATION DES BARILLAGES.		CONTENANCES normales.	PLUS-VALUE à payer par 100 kilogr. de poudre.
1		2	3
		kg	fr c
Barillets	Baril	45,000	»
	Demi-baril	22,500	»
	Quart de baril	11,250	»
Barillets	Cinquième de baril	9,000	1,50
		8,000	2,00
		7,500	2,00
	Sixième de baril	7,000	3,00
		6,000	6,00
		5,000	8,00
	Dixième de baril	4,500	8,00
		4,000	9,00
	Douzième de baril	3,600	10,00
		3,150	11,00
		2,700	12,00
	Vingtième de baril	2,250	14,50
		2,000	16,50
	Vingt-cinquième de baril	1,800	19,00
	Trentième de baril	1,500	23,00
	Trente-troisième de baril	1,350	24,50
	Quarantième de baril	1,125	33,50
	Cinquantième de baril	0,900	40,00

Les barillets désignés dans la colonne 1 du tableau ci-contre pourront contenir des poids de poudre variables compris entre 9kg et 0kg,900. Les plus-values à payer pour les contenances intermédiaires entre deux chiffres consécutifs de la colonne 2 seront égales à celles correspondant à la contenance immédiatement inférieure.

ART. 5. — Le présent arrêté sera déposé au bureau du contreseing pour être notifié à qui de droit. Il sera publié au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 6 février 1893.

P. TIRARD.

Digitized by Google

FIXATION POUR 1893
des prix de vente des poudres d'exportation.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

(Circulaire n° 50, du 22 février 1893.)

En exécution de l'article 11 du décret du 21 mai 1886, un arrêté du ministre des finances, en date du 6 février, dont le texte est reproduit à la suite de la présente circulaire, a fixé pour 1893 le prix de vente des poudres destinées à être exportées et a déterminé les espèces de poudre de guerre admises à l'exportation.

L'examen des prix de revient des poudres de diverses espèces pendant ces dernières années a conduit à réduire les prix de vente des poudres de guerre noires et brunes et aussi ceux des poudres de mine ronde ordinaire et forte; par contre, il a paru nécessaire de relever les prix des poudres de mine lente, des poudres de chasse vendues en barils et des cartouches comprimées au coton-poudre et au nitrate d'ammoniaque.

En outre, l'observation inscrite au tableau des prix a été modifiée, en ce qui concerne les poudres de chasse livrées à nu dans des barils, afin d'autoriser l'exportation, à l'état de cartouches chargées, des poudres vendues dans cet emballage.

Enfin le tableau des plus-values relatives aux poudres de commerce extérieur vendues en barillets de petite dimension a été remanié.

Tout d'abord, afin de donner satisfaction à diverses réclamations formulées par le commerce, il a paru nécessaire d'autoriser la vente en barillets d'une contenance inférieure au $\frac{1}{20}$ de baril, savoir : le $\frac{1}{25}$, le $\frac{1}{40}$, et le $\frac{1}{60}$ de baril, et de modifier ensuite légèrement les contenances pour le $\frac{1}{12}$ et le $\frac{1}{20}$ de baril.

Le montant des plus-values a été, en outre, légèrement relevé pour les barillets de $\frac{1}{6}$ ainsi que pour le barillet de $\frac{1}{6}$ contenant 6^{kg}; il a été réduit, au contraire, dans une assez forte proportion, pour les barillets de $\frac{1}{12}$ et au-dessous.

Pour les indications générales relatives à l'exportation des poudres, le service continuera à se reporter à la circulaire n° 452, du 6 juin 1886, ainsi qu'à la notice imprimée à la suite de la circulaire n° 580, du 1er février 1890 (1).

Le conseiller d'État, directeur général,
A. CATUSSE.

(1) Voir 5 *7.

Digitized by Google

N° 169.

ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL DU 15 FÉVRIER 1893, sur les conditions de fabrication des dynamites par l'industrie privée.

LES MINISTRES DU COMMERCE, DE L'INDUSTRIE ET DES COLONIES, DE LA GUERRE ET DES FINANCES,

Vu la loi du 8 mars 1875 et le décret du 21 août suivant, sur la dynamite;

Vu les décrets des 24 février 1876 et 12 mai 1877, autorisant les fabriques de dynamite de Paulilles; les décrets des 25 septembre 1876 et 18 septembre 1884, autorisant la fabrique de dynamite d'Ablon, et le décret du 22 mars 1887, autorisant la fabrique de dynamite de Cugny;

Vu l'avis du comité consultatif des arts et manufactures,

ARRÊTENT :

ARTICLE PREMIER. — Les fabricants de dynamite ne pourront, sans l'autorisation du ministre du commerce, de l'industrie et des colonies, modifier la nature ou le dosage des matières entrant dans la composition de leurs produits.

ART. 2. — La demande adressée au ministère du commerce, de l'industrie et des colonies devra comprendre l'indication précise des procédés de fabrication.

Un échantillon des types nouveaux de dynamite sera, en outre, remis à l'agent des poudres et salpêtres chargé de la surveillance de l'usine.

ART. 3. — Le ministre du commerce, de l'industrie et des colonies statuera, après avis du ministre de la guerre et du ministre des finances.

Paris, le 15 février 1893.

Le ministre du commerce, de l'industrie et des colonies,
JULES SIEGFRIED.

Le ministre de la guerre,
Gal LOIZILLON.

Le ministre des finances,
P. TIRARD.

Digitized by Google

N° 170.

DÉCRET DU 17 FÉVRIER 1893,
fixant le prix de vente, en Corse, de la poudre de chasse pyroxylée.

LE PRÉSIDENT DE LA RÉPUBLIQUE FRANÇAISE,

Vu la loi du 6 août 1883,
Sur les rapports des ministres des finances et de la guerre,

DÉCRÈTE :

ARTICLE PREMIER. — Le prix de vente, en Corse, de la poudre de chasse pyroxylée est fixé ainsi qu'il suit :

Aux débitants, 18^{fr} le kilogramme.
Aux consommateurs, 19^{fr} le kilogramme.

ART. 2. — Le ministre des finances et le ministre de la guerre sont chargés, chacun en ce qui le concerne, de l'exécution du présent décret, qui sera inséré au *Journal officiel* et au *Bulletin des lois*.

Fait à Paris, le 17 février 1893.

CARNOT.

Par le président de la République :

Le ministre des finances,
P. TIRARD.

Le ministre de la guerre,
G^{al} LOIZILLON.

N° 171.

SURVEILLANCE DES OPÉRATIONS DES ARTIFICIERS (1).

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

(Lettre commune n° 60, du 18 février 1893.)

Monsieur le directeur, à la suite d'un accord intervenu entre

(1) Voir aussi n° 174.

Digitized by Google

les départements de la guerre, de l'intérieur et des finances, il a été décidé que les fabricants d'artifices seraient désormais soumis à la surveillance technique des ingénieurs des poudres et salpêtres ou de leurs délégués.

A cet effet, M. le ministre de l'intérieur vient d'adresser aux préfets, à la date du 31 janvier dernier, une circulaire leur prescrivant d'insérer, à l'avenir, dans les arrêtés d'autorisation des fabriques de feux d'artifices, une disposition portant que les ingénieurs des poudres et salpêtres, ou les agents par eux désignés, pourront pénétrer dans les fabriques et y procéder à toutes constatations utiles.

Les arrêtés concernant les fabriques présentement autorisées devront être complétés dans le même sens.

Vous êtes prié de tenir l'administration au courant de l'exécution de la circulaire dont il s'agit et de transmettre, sous le timbre de la présente, copie des arrêtés qui seront pris par les préfets.

Vous recevrez ultérieurement des instructions sur le concours que les employés des contributions indirectes auront à prêter aux agents du service technique.

Recevez, monsieur le directeur, l'assurance de mes sentiments de considération et d'attachement.

Le conseiller d'État, directeur général,
A. CATUSSE.

N° 172.

MODE DE CONSTRUCTION DES USINES AVEC MURS DE MASQUE.

(Lettre collective n° 2.)

Paris, le 3 mars 1893.

Messieurs, lors de l'explosion qui s'est produite, le 23 janvier 1892, dans l'usine n° 73 de la poudrerie de Saint-Chamas, contenant une tonne de lissage chargée de 500^{kg} de poudre, le mur de fond de l'usine et le mur de masque, relié au précédent par une demi-voûte et par des fers à I, ont été tous deux complè-

Digitized by Google

tement démolis depuis le sommet jusqu'à la hauteur des fers à I de liaison, tandis que la partie inférieure est restée debout.

L'expérience démontrait ainsi que la disposition habituellement adoptée pour cette partie de la construction ne donne pas à l'ensemble des murs postérieurs une solidité suffisante, et qu'en particulier, la demi-voûte jetée entre le mur de masque et le mur de fond ne présente pas, comme moyen de liaison des deux murs, les avantages qu'on lui avait attribués. Il convenait donc de rechercher un mode de construction plus résistant.

La Commission de fabrication des poudres, que j'ai chargée de l'étude de cette question, a émis l'avis qu'il y avait lieu, pour les usines qui comportent l'emploi d'un mur de masque, de renoncer complètement à toute construction de voûte et de relier le mur de fond et le mur de masque par un double cours de fers à I, solidement ancrés et garnis, aux points de pénétration dans les murs, d'équerres prenant appui contre la maçonnerie.

J'ai approuvé cet avis et vous devrez, en conséquence, lorsque vous aurez à faire établir des projets, soit de construction, soit de grosses réparations d'usines à mur de masque, employer comme liaison entre ce mur et le mur de fond des fers à I disposés sur deux lignes horizontales, l'une vers le sommet du mur de masque, l'autre à environ $2^m, 50$ au-dessous, la hauteur exacte étant déterminée en raison des installations à faire dans la galerie. La couverture de cette galerie consistera alors en un simple toit d'ardoises, de tuiles plates ou de feuilles métalliques portées par des chevrons reposant sur les sommets des deux murs.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

G^{al} LOIZILLON.

N° 173.

INCENDIE DANS LA FABRIQUE DE COTON-POUDRE A ANGOULÊME.

(Lettre collective n° 4.)

Paris, le 31 mars 1893.

Messieurs, un incendie a éclaté le 13 juillet dernier, vers $6^h 40^m$ du soir, à la poudrerie d'Angoulême, dans un hangar servant de

Digitized by Google

magasin aux acides, qui faisait partie d'un vaste bâtiment en bois affecté à la fabrication du coton-poudre, et il s'est étendu aux ateliers contigus avec une telle rapidité qu'il n'a été possible de l'arrêter qu'au dernier compartiment du bâtiment, à l'aplomb d'une cloison séparant l'atelier des turbines du lavage à eau chaude.

Je vous adresse ci-joint le rapport établi au sujet de cet incendie par M. l'inspecteur général Maurouard, qui a fait l'enquête réglementaire.

Il résulte de ce document que l'accident a été causé par la rupture accidentelle d'une tourie pleine d'acide nitrique à 48°, que les garnitures en paille et en osier enveloppant cette tourie et les voisines, bien qu'elles eussent été arrosées de chlorure de calcium, ont pris feu sous l'action de l'acide et déterminé l'inflammation de la charpente et de la toiture du hangar; par suite de l'accumulation d'un grand nombre de touries dans ces bâtiments combustibles, l'incendie, lorsque les ouvriers préposés à la garde l'ont aperçu, avait déjà une telle intensité qu'ils n'ont pu s'en rendre maîtres et que c'est seulement au prix des plus grands efforts que le personnel accouru du dehors a réussi enfin à l'arrêter. Grâce au zèle et au dévouement dont le personnel a fait preuve, la partie du bâtiment qui contenait du coton-poudre a pu être préservée.

Pour récompenser les hommes qui se sont le plus distingués, j'ai accordé les récompenses demandées pour eux par M. l'inspecteur général.

L'accident survenu ainsi, malgré la surveillance des hommes de garde, démontre la nécessité de prendre des précautions nouvelles dans l'emmagasinage de l'acide nitrique 48°.

Elles consisteraient, d'une part, à limiter l'approvisionnement d'acide nitrique 48° conservé sous des abris à la quantité correspondant à la consommation d'une semaine et, d'autre part, à placer les touries contenant cet approvisionnement dans des fosses étanches remplies d'eau.

Les directeurs des établissements qui, ayant à conserver de l'acide nitrique 48°, ne disposent pas de fosses convenables et suffisantes, me soumettront d'urgence les projets nécessaires pour les établir.

Digitized by Google

L'accident du 13 juillet montre encore que les installations faites pour la fabrication des nouveaux explosifs, dans le but de pourvoir à des besoins urgents, ne sont point complètement satisfaisantes : il conviendra, dans les constructions nouvelles, d'éviter l'emploi de bâtiments de très grandes dimensions, ou tout au moins de diviser ceux-ci en sections séparées par des murs assez saillants sur la toiture et les parois, pour fournir à un compartiment une protection efficace contre la propagation de l'incendie d'un compartiment voisin.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective.

G^{al} LOIZILLON.

RAPPORT

sur un incendie survenu, le 13 juillet 1892, dans la fabrique de coton-poudre de la poudrerie nationale d'Angoulême.

Le 13 juillet 1892, vers 6^{h}40^{m} du soir, le feu éclatait sous le hangar aux acides, qui constitue le premier compartiment du vaste bâtiment n° 155 de la fabrique de coton-poudre de la poudrerie d'Angoulême, gagnait les compartiments à la suite affectés aux opérations du mélange des acides, du trempage et du turbinage, ainsi que trois autres petits bâtiments contigus, avec une telle rapidité qu'il ne pouvait être arrêté qu'au moment où il arrivait à la dernière salle, consacrée au lavage à eau chaude, dont l'incendie pouvait avoir des conséquences désastreuses.

L'enquête réglementaire, faite le 16 juillet et jours suivants, a donné lieu aux constatations suivantes :

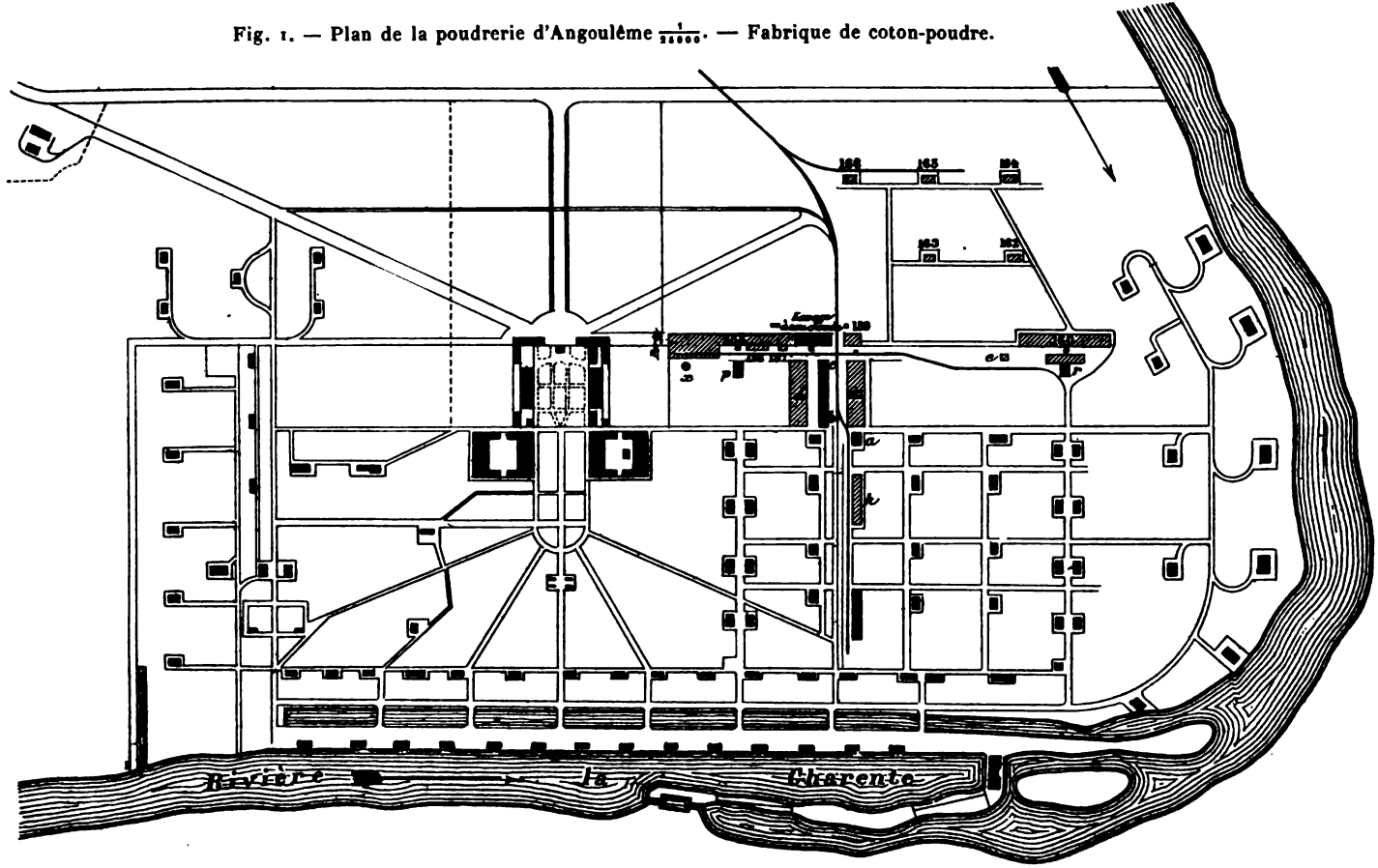
Historique de la création de la fabrique de coton-poudre et sa description.— Au moment de l'adoption de la poudre sans fumée par l'armée, le service des poudres et salpêtres ne disposait, pour la fabrication du coton-poudre, que de la petite fabrique du Moulin-Blanc, créée en 1875, près de Brest, en vue seulement des besoins de la marine.

L'insuffisance des moyens de production obligea à recourir à l'usine anglaise de Stowmarkett, qui avait jadis fourni le coton-poudre à la marine française avant la construction du Moulin-Blanc. Mais cette solution était trop onéreuse pour l'administration chargée de faire face aux exigences croissantes de la consommation. La création d'une seconde fabrique de coton-poudre fut donc décidée.

Par sa situation géographique, par son étendue et le nombre de ses bâ-

Digitized by Google

Fig. 1. — Plan de la poudrerie d'Angoulême $\frac{1}{2500}$. — Fabrique de coton-poudre.



Digitized by Google

timents, dont quelques-uns allaient devenir disponibles, la grande poudrerie d'Angoulême se prêtait, mieux que toute autre, à une installation rapide et économique. La fabrique de coton-poudre y fut établie dans les conditions suivantes, en 1887 :

L'établissement se développe (plan d'ensemble, *fig.* 1) sur la rive gauche de la Charente, suivant une ligne de 3^{km} de longueur. Sa superficie, de 69^{ha}, avait été augmentée, en 1883, de 31^{ha} par l'affectation, au service des poudres et salpêtres, du domaine forestier de la Grande-Garenne, que l'État conservait comme une zone de protection de la poudrerie. Ce supplément de superficie ne fut d'abord utilisé que dans les parties sud-est et ouest, pour la construction d'atelier d'emboîtage et d'encaissage des poudres et de presses hydrauliques. Le reste avait toutefois permis de reporter loin des bâtiments de fabrication le chemin de halage accessible aux personnes étrangères.

La force motrice, en 1887, était de 550 chevaux, fournis moitié par la Charente, moitié par la vapeur. Depuis dix ans, ces puissants moyens étaient employés à la fabrication des poudres de guerre; mais, les commandes diminuant, des bâtiments et des machines allaient devenir disponibles. La nouvelle fabrique de coton-poudre s'en empara.

Elle fut installée sur l'ancien chemin du contre-halage, parallèlement à la ligne des anciennes usines du bord de la Charente, orientée par conséquent du sud-est au nord-ouest. Un ancien mur d'enceinte, conservé depuis 1877, servit comme mur de devanture pour une partie des constructions. On empiéta dans la futaie pour donner aux bâtiments la largeur convenable, mais les abatages furent restreints au minimum absolument nécessaire.

Les immeubles qui constituèrent la fabrique de coton-poudre sont les suivants (*fig.* 2) :

135. Bâtiment de 180^{m} de longueur sur 15^{m} de largeur, affecté aux opérations du trempage et du lavage.

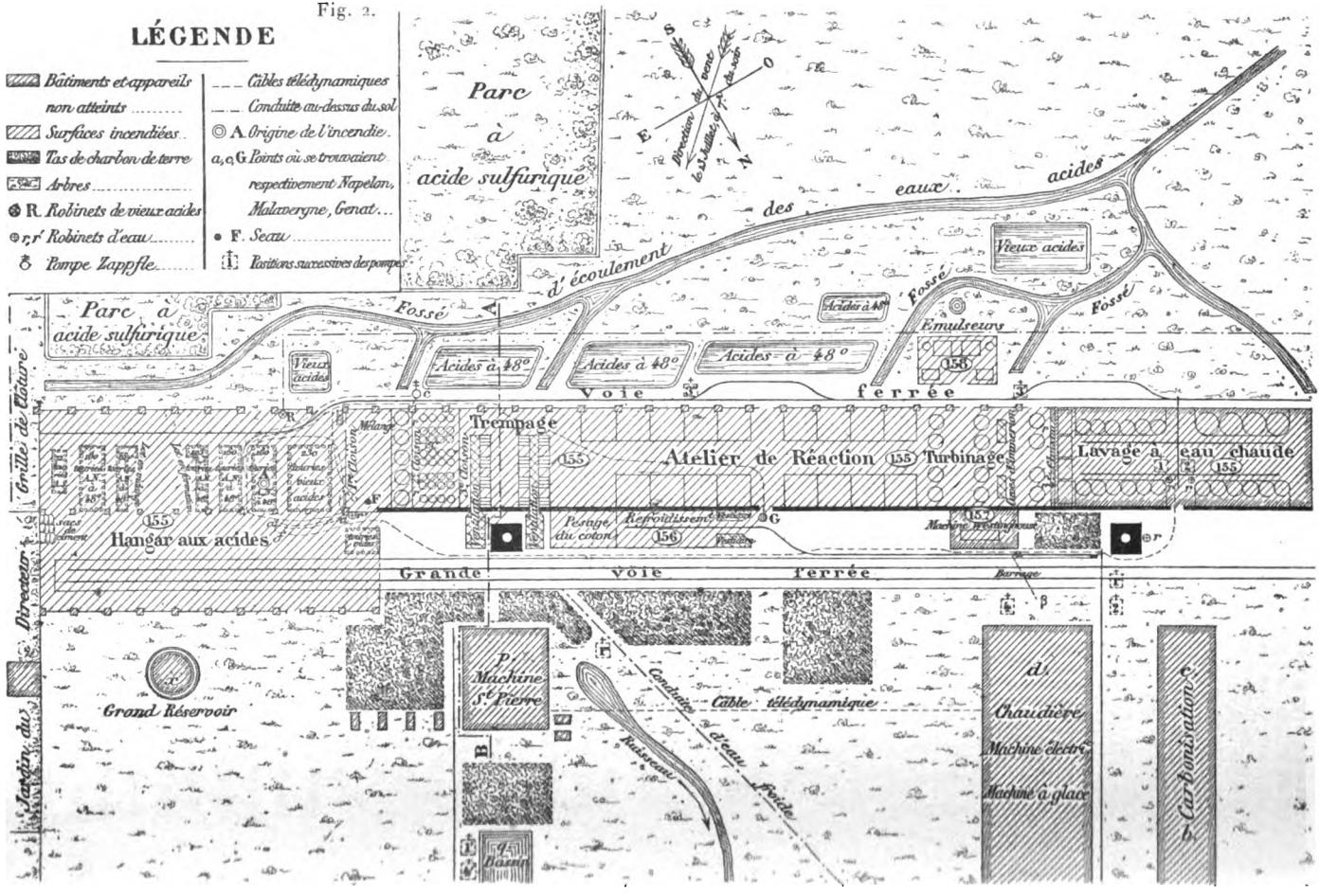
Ce bâtiment comprend, à partir de son extrémité est, un premier hangar, sur poteaux isolés, de 50^{m} de longueur, qui a été doublé latéralement, de façon à couvrir le branchement de la voie ferrée, et dans lequel se déposent les acides nitriques fabriqués à l'usine et un petit approvisionnement courant d'acide sulfurique ou de vieux acides, suivant la nature des fabrications.

Au fond du premier hangar, des cloisons en planches isolent une salle de 8^{m} de longueur, où sont installés cinq vases mélangeurs.

A la suite, un massif en maçonnerie, élevé de 2^{m}, porte quarante-huit cuves de refroidissement divisées par séries de huit, avec leur tuyauterie en fonte et leur robinetterie de sûreté, qui donne au chef de service le moyen de mettre en dépense, au besoin, telle ou telle cuve.

Digitized by Google

Fig. 2.


LÉGENDE
Bâtiments et appareils non atteints
Surfaces incendiées
Tas de charbon de terre
Arbres
R. Robinets de vieux acides
r, r' Robinets d'eau
Pompe Zappfle
Câbles télédynamiques
Conduite au-dessus du sol
A. Origine de l'incendie.
a, c, G. Points où se trouvaient respectivement Napelon, Malavergne, Genat...
F. Seau
Positions successives des pompes
Parc à acide sulfurique
Fossé d'écoulement des eaux acides
Vieux acides
Fossé
Acides à 48°
Emulseurs
Voie ferrée
Trempage
Atelier de Réaction
Turbinage
Lavage à eau chaude
Mélange
Pesage du coton
Refroidissement
Machine à emballer
Hangar aux acides
Grande Voie Ferrée
Grand Réservoir
P. Machine St Pierre
Conduite d'eau froide
Câble télédynamique
Ruisseau
Jardin du Directeur
Grille de Clôture
d. Chaudière
Machine électro
Machine à glace
c. Carbonisation
b.

Une cloison en planches sépare le compartiment des cuves du grand atelier, où se trouvent d'abord les appareils de nitrification constitués par trente-six auges, qui sont réparties en trois bacs, de douze auges chacun, adossés à des couloirs de ventilation.

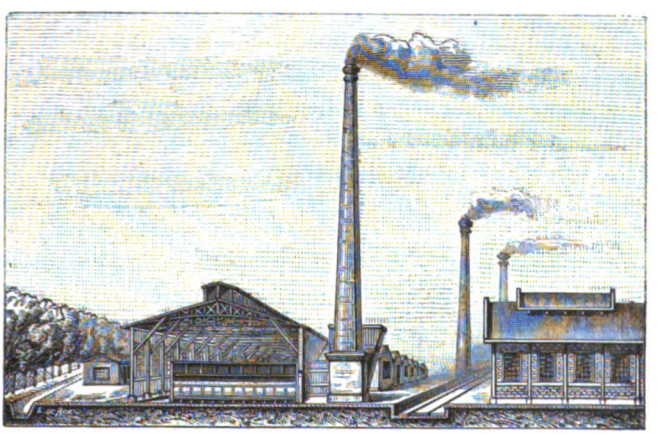
Vient ensuite une série de vingt fosses en maçonnerie, qui peuvent recevoir dix-huit cents à deux mille pots à réaction. Ces fosses sont distribuées symétriquement à droite et à gauche de la voie centrale pavée en carreaux de silex, par laquelle s'exécutent les transports.

Au fond de l'atelier, il y a huit turbines pour le coton acide, deux cuves d'immersion en bois, quatre turbines pour le coton lavé. Les transmissions et canalisations des turbines sont souterraines et ne gênent en rien la circulation.

Derrière la cloison en planches qui termine le grand atelier, c'est le lavage à eau chaude, contenant dix-huit cuves de lavage et trois cuves plus grandes de dépôt.

Tout le bâtiment 155 est construit en bois (*fig.* 3), sur poteaux avec

Fig. 3.



fermes Pombla, lattis, couverture en carton bitumé, tous matériaux éminemment combustibles. La face nord-est seule est formée par un mur en maçonnerie, qui était autrefois un mur de clôture et qu'on s'est borné à surélever en 1887.

Le bâtiment 155 est bordé, sur un de ses côtés, par la futaie de la Grande-Garenne, de l'autre par le quai de la voie de raccordement. C'est sur ce quai que se trouvent les grandes trémies d'évaporation des ventilateurs du trempage, le pylone métallique de la transmission du mouvement des ventilateurs, la cheminée de 35^{m} du groupe de 200 chevaux, enfin les bâtiments 156 et 157.

Digitized by Google

156. Ce bâtiment, adossé au mur du 155, est entièrement en bois; sa couverture, en carton bitumé, repose sur une série de petites fermes juxtaposées, dont les faîtages sont perpendiculaires à la muraille. Le premier compartiment est la salle de refroidissement du coton sec, le second celle du pesage du coton à tremper. Les charges, renfermées dans de petits étouffoirs, sont livrées à la salle du trempage par des guichets.

157. Le bâtiment 157, semblable au n° 156, abrite la machine Westinghouse, qui sert de moteur aux douze essoreuses du turbinage.

Plus loin s'élève la cheminée du lavage à eau chaude, 35^{m} de hauteur.

158. Du côté de la forêt, le bâtiment 158 est occupé par des récipients où viennent se rendre les vieux acides extraits par les essoreuses. Deux émulseurs les remontent dans deux bacs élevés sur des massifs en maçonnerie. Le transport horizontal de ces acides se fait ensuite par une canalisation partant des bacs supérieurs et aboutissant à des recettes éloignées, mais à des niveaux moins élevés.

159. (Pour ce bâtiment et les suivants, revenir *fig.* 1.) Dépôt des vieux acides venus du bâtiment 158; huit cuves en fonte de 1200^{lit}, un émulseur remontant les acides dans un bac élevé, d'où part la canalisation aboutissant à la fabrique d'acide nitrique.

160. Bâtiment long de 110^{m} sur 15^{m} de large, contenant six piles supérieures, vingt-quatre bacs mélangeurs, six piles inférieures, deux épurateurs, six turbines de pâte. Ces nombreux appareils, installés par espèces à des hauteurs différentes, pour le transport automatique des produits d'une opération à l'autre, sont actionnés par des transmissions logées au rez-de-chaussée.

Ce vaste bâtiment, en maçonnerie, charpente Pombla, toiture en ardoises de zinc, est très réussi; il n'a qu'un tort, celui d'être en partie inutilisé, à la suite des modifications profondes apportées depuis 1887 aux procédés de pilage et de centralisation.

161. Fabrique d'acide nitrique pourvue de trente fours.

162, 163, 164, 115, 166. Dépôts en bois et briques, couverts en ardoises, affectés au tamisage du coton-poudre essoré, à l'emballage et à l'emmagasinage.

a. Magasin au nitrate de soude.

d. Ancien bâtiment des poudres noires, allongé et doublé en largeur. En partant de l'extrémité nord, on y trouve le triage du coton, les deux berlaudoirs, la machine à glace, la salle de la lumière électrique, les deux séchoirs du coton, et enfin une dernière salle contenant six générateurs Belleville de 50 chevaux chacun.

e. Laboratoire.

k. Magasin au coton.

Digitized by Google

p. Groupe de deux machines demi-fixes d'où partent les câbles qui portent le mouvement aux ventilateurs du trempage (155) et aux divers appareils du bâtiment *d*.

r. Ancien bâtiment agrandi pour recevoir quatre générateurs Belleville et quatre machines Corliss de 50 chevaux, commandant les transmissions du n° 160.

x. Château d'eau entretenu par les pompes Greindl, sous l'action du moteur au bâtiment *r*.

La fabrique de coton-poudre est desservie par les branchements de la voie ferrée, sur laquelle circulent les wagons d'importation et d'exportation.

État des lieux avant l'incendie. — Le 13 juillet, à $6^h 40^m$ du soir, le hangar aux acides du groupe 155 contenait un lot de 30000^{kg} de vieux acides n° 1, cinq lots d'acide nitrique, les uns complets à 160 touries (20 sur 8), les autres incomplets, en tout 43000^{kg} d'acide nitrique à 48°. 72 touries d'acide sulfurique concentré, soit 9200^{kg}, plus 206 touries vides.

Les vases mélangeurs étaient vides.

Sur les trente-deux cuves de refroidissement, douze seulement étaient pleines; la tuyauterie et les robinets étaient en très bon état.

Dans la grande salle de fabrication, les auges seules contenaient 3000^{kg} d'acides préparés pour la fabrication du coton n° 2. Tout le reste était vide : pots à réaction et turbines. Les fosses étaient pleines d'eau et les pots avaient été remontés sur le chemin central de service.

Au lavage à eau chaude, il y avait 9000^{kg} de coton-poudre, dans onze cuves ordinaires, et 300^{kg} dans une cuve de dépôt. Le coton-poudre était couvert d'un bain d'eau et les deux cuves de dépôt remplies de 18^{hlit} d'eau. De temps à autre, le gardien ouvrait les robinets d'alimentation pour maintenir les niveaux.

Au bâtiment 156, il y avait cent petits étouffoirs vides et quatre-vingt-trois étouffoirs pleins ou vides ne contenant que 1033^{kg} de coton en refroidissement.

Le bâtiment des émulseurs (158) avait dans ses bacs 1500^{kg} de vieux acides.

Surveillance pour le chômage. — La fabrication du coton-poudre devant être interrompue pendant la journée du 14, on avait cessé le trempage le 13 de très bonne heure, de façon à terminer le turbinage et à faire les nettoyages avant le départ des ouvriers.

La garde des appareils de nitrification avait été confiée à un brigadier et à trois ouvriers, un sous le hangar aux acides, le deuxième aux cuves de refroidissement, et le troisième au lavage à eau chaude.

Deux hommes surveillaient la fabrique d'acide nitrique.

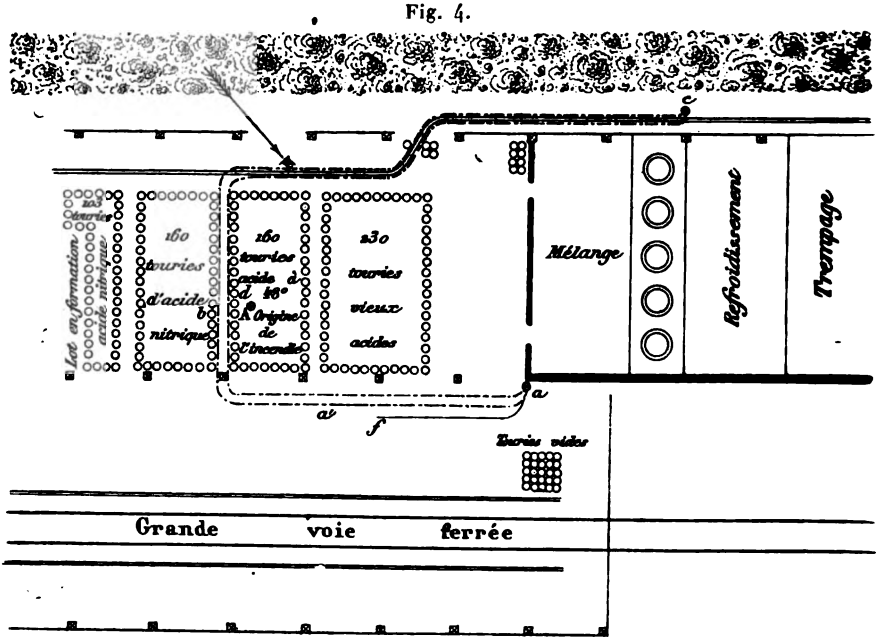
Digitized by Google

Il y avait en outre, à la poudrerie, un surveillant mécanicien, deux chauffeurs ou mécaniciens au groupe des machines à vapeur *r*, et un manœuvre pour veiller au fonctionnement des pompes et à l'alimentation du château d'eau; deux chauffeurs au bâtiment *d*, un autre chauffeur et deux électriciens au groupe *r*, pour le service de la machine à glace et de la lumière électrique. Le personnel de la lumière avait été augmenté en raison de la fête annuelle du 14 juillet, qui devait avoir lieu le 13 sur le rond-point extérieur à partir de 8h du soir. Les jeux, que la municipalité d'Angoulême avait annoncés pour la journée du 14, devaient, en effet, avoir cette année un éclat exceptionnel, et les ouvriers avaient demandé qu'on avançât de vingt-quatre heures les divertissements spéciaux de leur corporation.

Un garde assermenté et sept militaires au poste d'infanterie complétaient un personnel de vingt à vingt-deux personnes disponibles en cas de danger, non compris les personnes logées à l'établissement.

Circonstances de l'incendie et secours. — Le brigadier GENAT avait

Fig. 4.



fait, vers 6h 30m, une tournée dans le bâtiment 135 et avait trouvé tout le monde à son poste.

A 6h 40m environ, l'ouvrier NAPELON, de garde sous le hangar, se lavait les mains au robinet d'eau en pression (*fig.* 4), quand il entendit le cra-

Digitized by Google

quement du verre d'une tourie A faisant partie du premier lot d'acide nitrique à 48°, et vit des vapeurs rouges se former. Il courut, en suivant le chemin indiqué au plan par une ligne ponctuée ---------- pour se rendre un compte exact de la situation de la tourie et l'isoler, en retirant les touries voisines; mais il arrivait à peine aux deux tiers du chemin, en *a'*, quand il entendit un nouveau craquement, suivi immédiatement de plusieurs autres. En arrivant en B, il put constater l'impossibilité d'approcher pour isoler les touries en vidange. Les vapeurs rouges, chassées par le vent, l'empêchaient déjà de revenir sur ses pas. Il courut prendre la pompe Zapfle, qu'il trouva pleine, en *c*. Revenu en *d* par le chemin *cd*, il essaya vainement de faire fonctionner l'appareil, qui avait pourtant servi, deux jours auparavant, à arroser les paniers des touries avec une dissolution de chlorure de calcium. Faut-il attribuer à l'émotion l'insuccès de la manœuvre? Toujours est-il que Napelon en fut réduit à projeter à la main le contenu de la pompe sur les touries cassées. Retourné ensuite au robinet de prise d'eau *a*, il y rencontra le brigadier Genat, que MALAVERGNE était allé avertir; tous deux ajustèrent un tuyau en caoutchouc de 10^{m} de long sur le robinet de prise d'eau et s'avançaient en *f* pour arroser. Les flammes avaient déjà paru et commençaient à monter vers la toiture. Pendant un temps qu'on évalue à six à huit minutes, la lutte fut engagée avec le foyer d'incendie, qui s'étendait alors à plus de quinze touries, mais l'intensité des vapeurs acides força les sauveteurs à déguerpir.

Napelon courut au lavage à eau chaude, où il trouva Malavergne, qui s'était précipité vers cet atelier avec le garde JOLLY, aussitôt après avoir prévenu le brigadier Genat. La pompe, tenue constamment prête sur ce point, pendant les chômages, fut emportée par les trois hommes et conduite près du bâtiment *p* (*fig.* 2), pour battre les toitures et parois du hangar du trempage.

Cependant, le brigadier Genat s'était dirigé en toute hâte vers le bâtiment *b*, et là, aidé du garde FAUCONNET et de quelques chauffeurs, prenait une deuxième pompe et la mettait en batterie près du bâtiment *p* (*fig.* 2), de façon à arroser les toitures de l'atelier du turbinage et du lavage à eau chaude.

Les toitures du hangar aux acides étaient alors en pleine combustion. Des colonnes épaisses de fumée noire et de vapeurs rouges d'acide hypoazotique s'élevaient du foyer de l'incendie, laissant voir, par intervalles, les longues flammes qui dévoraient tous les éléments combustibles.

A ce moment arrivaient le directeur, les ingénieurs et le chef mécanicien.

Tous, se rendant compte de l'impossibilité de sauver le hangar, et même le grand atelier qui y fait suite, se retrouvèrent au pied du lavage à eau

Digitized by Google

chaude. Les acides provenant des touries cassées sous le hangar coulaient dans la tranchée de la voie ferrée, et descendaient vers le lavage à eau chaude, émettant des vapeurs qui rendaient intenable tout le voisinage.

Une digue en escarbilles fut immédiatement opposée au torrent des acides, qui dès lors fut maintenu à distance. Deux chauffeurs, MERGEAU et BLANLŒIL, montèrent sur le toit du bâtiment 155 et commencèrent une coupure à 20^{m} environ de la cloison du lavage à eau chaude. Cet essai dut être abandonné, les travailleurs allaient être atteints par les flammes.

Le directeur, jugeant que la lutte par l'extérieur serait infructueuse avec le peu de personnel dont il disposait encore, donna l'ordre de faire entrer à l'intérieur de l'atelier même de lavage la pompe qui arrosait la toiture.

La bâche fut placée sous un des robinets des cuves et la lance dirigée contre la cloison faisant face à l'incendie et au lanterneau. Dès qu'une flammèche tentait de pénétrer sur la paroi intérieure de la cloison, elle était éteinte. Cette station fut maintenue jusqu'à la fin de l'incendie, à l'extinction duquel elle concourut avec succès.

Cependant une troisième pompe, amenée du bâtiment *m* par deux ouvriers, JOLLY et ORDONNEAU, accourus des Planes aux premiers indices du sinistre, arrivait près de la plaque tournante de la voie ferrée. Elle fut immédiatement conduite sur le chemin de service qui longe la face sud-ouest du bâtiment 155, de façon à battre la paroi extérieure de la cloison du lavage à eau chaude. Le charpentier PÉCOUT, montant sur la toiture avec une hache, fit rapidement une coupure de 2^{m} dans la toiture, à l'aplomb de l'atelier du lavage. Le garde LOTTE coupa la sablière. Sur l'autre pan, quatre hommes continuaient la coupure commencée du côté de la forêt. Le chef mécanicien BLANC faisait arracher les planches de la paroi extérieure, et la surface de la cloison protectrice du lavage à eau chaude, ainsi mise à découvert, put être arrosée efficacement de l'extérieur.

La pompe conduite près du bâtiment *p*, par Malavergne et Napelon, dès l'origine du feu, avait été abandonnée par son équipe, que les vapeurs acides suffoquaient. M. l'ingénieur BRULEY la fit reprendre et mettre en batterie sur le mur de quai, à proximité du bâtiment *d*, dans une position où elle pouvait battre la cloison et la toiture du lavage.

Le personnel des manœuvres, grossi par tous les ouvriers que leur dévouement seul avait amenés avant les avis du télégraphe et du téléphone, commençait à suffire. La cloison du lavage à eau chaude, prise entre trois pompes qui l'arrosaient sur ses deux faces et déjà débarrassée de ses liaisons avec les bâtiments incendiés, fut préservée. On était alors maître du feu.

Le but qu'on s'était proposé, la préservation du lavage à eau chaude,

Digitized by Google

chargé de 9000^{kg} de coton-poudre, était atteint. Si l'incendie n'avait pas été ainsi limité, le feu gagnait des matières explosives, pouvait s'étendre au dépôt des vieux acides (159), à la fabrique d'acide nitrique (160), enfin à la forêt et finir par atteindre, qui sait? les dépôts de la poudre noire. S'il n'en a pas été ainsi, c'est grâce aux efforts aussi énergiques qu'intelligent du personnel des ingénieurs, des commis, des chefs ouvriers et des ouvriers eux-mêmes, qui ont rivalisé de zèle et de dévouement dans le sauvetage du bel établissement, si gravement menacé.

État des lieux après l'accident. — Du bâtiment 155 il ne reste que le compartiment du lavage à eau chaude, le mur en maçonnerie et les socles. Le n° 156 est détruit; le n° 157 n'est qu'entamé sur la toiture; le n° 158 est complètement brûlé, sauf les fondations et les caves.

La tranchée de la voie ferrée, qui a servi de réservoir d'acides pendant la lutte contre l'incendie, a quelques avaries, notamment aux murs de quai. Les coins de serrage en bois sont carbonisés, les rails entamés, mais le dommage paraît n'avoir pas grande importance. On n'a pas remarqué d'effet sur les fondations de la cheminée des machines Saint-Pierre. D'ailleurs, les acides retenus par la digue d'escarbilles avaient été dirigés, pendant la nuit, dans les fossés d'écoulement et se sont perdus, soit dans le sol, soit dans les bassins d'épuration.

Les arbres de la forêt qui borde la façade sud-ouest du bâtiment 155 ne sont pas gravement atteints, préservés qu'ils ont été par le vent qui soufflait un peu de l'ouest.

Les plantations éparses de l'autre côté ont, au contraire, grandement souffert sous l'action des flammes et surtout des vapeurs acides que le vent poussait dans leur direction.

Le réservoir x (*fig.* 2), qui sert de château d'eau pour la fabrique de coton-poudre, est entouré d'une enveloppe en bois qui le protège contre la gelée. Cette enveloppe, desséchée par les chaleurs de l'été, était un élément tout préparé pour la combustion. Le feu s'y communiqua bien vite et la moitié du revêtement se brûla pendant la nuit. On s'en aperçut, mais les secours ne purent être donnés que le matin, alors que tout danger avait disparu au bâtiment 155. On comptait d'ailleurs que ce réservoir, qui n'a pas cessé de déborder pendant l'incendie, s'éteindrait de lui-même. Une différence de niveau dans la circonférence du bord supérieur, résultant peut-être de la dilatation des tiges les plus exposées de la charpente métallique, dirigea l'excédent d'eau vers un point bas qui seul fut arrosé.

La position élevée du bassin l'exposait à l'action du vent et favorisait la combustion des parties sèches ou attaquées par le feu. Des fragments carbonisés, qu'on croit appartenir au revêtement, ont été retrouvés sur les chemins de la poudrerie, à une distance de 350^{m}.

Digitized by Google

On a également ramassé, dans la même direction, des parcelles de carton bitumé, reconnaissables à leurs boursouflures. Ces dernières épaves, très légères, soulevées par les gaz à une grande hauteur, ont franchi des distances considérables. On en a rapporté de la commune de Saint-Yrieix, à plus de 2^{km} de la poudrerie, qu'elles avaient traversée sans donner lieu à aucun accident, et les dégâts accessoires se sont bornés, comme il a été dit, aux bâtiments 156, 157 et 158, que leur grande proximité n'a pas permis de sauver d'une ruine totale.

Pertes. — Les pertes résultant de l'incendie peuvent être évaluées comme suit :

		fr
Pertes en immeubles.	Bâtiments	43400 »
	Appareils de fabrication	14000 »
Valeur perdue en....	matières premières	28233 49
	ustensiles	7878 01
Indemnité à divers pour perte d'effets		400 »
Frais de nettoyage et de déblayage		3000 »
	Total	96911 50

Chômages. — L'incendie du 13 juillet a pour conséquence l'arrêt de la fabrication du coton-poudre à la poudrerie d'Angoulême. Les mises en fabrication s'élèvent à 25000^{kg} de coton n° 1 et 7000^{kg} de coton n° 2, dont la livraison pourra se faire à bref délai, mais sera suivie d'un chômage d'au moins trois mois, si l'on se borne à la réparation définitive des bâtiments détruits. Or, M. Rullier, entrepreneur à Angoulême, nous a présenté un projet d'installation provisoire qui permettrait la reprise du travail dans le délai d'un mois, et sera soumis par le directeur au ministre, qui seul peut apprécier l'urgence de la remise de la fabrique en activité.

Enseignements. — Les circonstances relevées par l'enquête donnent des enseignements dont il me paraît utile de tenir compte dans la réinstallation définitive.

Les touries en grès, moins fragiles que les touries en verre, sont indiquées pour l'emballage de l'acide nitrique fumant fabriqué à la poudrerie. On fera bien, à l'avenir, de renoncer aux touries de verre, trop sensibles aux chocs et aux changements de température. Le grès est, d'ailleurs, le seul emballage usité à l'usine de Marennes, qui livre à la poudrerie nationale d'Angoulême la plus grande partie de l'acide sulfurique concentré. L'emploi des touries en grès pour l'acide nitrique ne présentera donc aucune difficulté d'exécution.

La précaution de mettre les touries d'acide nitrique concentré dans une fosse remplie d'eau n'a pas été prise dès l'origine, parce qu'elle a pour conséquence une usure rapide des paniers et d'autres inconvénients en

Digitized by Google

temps de gelée. Cependant, il conviendrait de placer les touries dans une fosse étanche, divisée en compartiments, qu'une canalisation partant du réservoir d'eau pourrait remplir en quelques minutes. Un tuyau de décharge donnerait issue aux eaux quand tout danger aurait disparu.

L'approvisionnement d'acide nitrique, au 13 juillet, était élevé à un chiffre qui permettait un chômage de un mois et demi à deux mois, pendant lequel on devait poser sur les fours un plancher métallique. A part ces circonstances particulières, il conviendra de réduire le stock d'acide nitrique à la consommation d'une dizaine de jours.

Dans la reconstruction provisoire ou définitive, le lavage à eau chaude devra être séparé du turbinage par un mur à saillies suffisantes pour protéger un des compartiments contre les flammes de la toiture voisine.

A la couverture en carton bitumé, onéreuse comme entretien et très combustible, on substituera les tuiles mécaniques ou d'autres matériaux ininflammables.

Les fermes Pombla sont à proscrire, en raison de la multiplicité des étais qui relient l'entrait courbe à l'arbalétrier. Ces pièces ont, en effet, de petites dimensions dans tous les sens et favorisent la propagation du feu.

Enfin, le toit de la partie du bâtiment 155 à usage de hangar aux acides serait avantageusement relevé de 2^m au moins.

On a remarqué la facilité avec laquelle les parois du bâtiment 157, où se trouvait la machine Westinghouse, avaient pu être éteintes avec les pompes. Le bois se carbonisait sans longue flamme. Ces parois avaient été couvertes, en 1887, avec un enduit spécial incombustible fourni par la Société l'*Incombustibilité*, 3, boulevard Magenta, à Paris. L'expérience conseille d'étendre l'application de cet enduit à toutes les pièces de la charpente et au lattis.

Propositions et récompenses. — En terminant, je dois signaler à la bienveillance de M. le ministre de la guerre ceux des agents de la poudrerie qui se sont le plus particulièrement distingués dans la lutte contre l'incendie et qui ont, à ce titre, été déjà cités dans mon ordre du jour ci-joint, du 18 juillet 1892.

Des récompenses honorifiques et pécuniaires me paraissent méritées dans l'ordre suivant :

1° Médaille d'argent de 2e classe :

A MONTAUD (Eugène), poudrier de 2e classe, lequel est monté sur la toiture du turbinage pour opérer une coupure de 2^m dans le lattis et la charpente.

Cet homme en est à son deuxième acte de sauvetage, ayant déjà été signalé, lors de l'explosion du 15 février 1889, comme ayant accompagné le directeur dans le second compartiment de l'usine 11, où se trouvait,

Digitized by Google

comme dans le voisin qui venait de sauter, une tonne en mouvement chargée de 100kg de matières ternaires.

2° Gratification de 50fr à chacun des dénommés ci-après :

Bonnoron (Léonard), poudrier de 2e classe; Blanlœil (Eugène), chauffeur; Joubert (Pierre), électricien; Jouy (Louis), chauffeur; Mergeau (Jean), chauffeur; Ordonnaud (Adrien), auxiliaire de 2e classe; Pécout (Adrien), charpentier; Périnaud (André), auxiliaire de 2e classe; Quillet (Marc), auxiliaire de 2e classe; René (Edgard), chauffeur; Touchard (Pierre), poudrier de 1re classe, lesquels se sont exposés sur le même toit pour y opérer des coupures ou tenir les lances des pompes.

3° Une gratification de 30fr :

Au gardien Lotte (Jean), qui a été vu, sur une échelle, coupant la sablière commune du turbinage et du lavage à eau chaude.

4° Enfin une gratification de 25fr à chacun des dénommés ci-après pour divers actes d'initiative individuelle :

Delage (Ernest), conducteur-chef des machines à vapeur, lequel a amené sur les lieux une petite pompe Guillebaud, qui a contribué à sauvegarder le bâtiment 157; Garraud (Jean), aîné, poudrier de 1re classe, lequel a éteint le feu qui menaçait de se développer dans un dépôt de charbon; enfin Jolly (Louis), poudrier de 2e classe, et Raymond (Jean), auxiliaire de 2e classe, lesquels, en accourant du dehors, ont spontanément amené et mis en batterie deux pompes éloignées, que le manque de personnel n'avait pas encore permis d'envoyer prendre.

Responsabilités et récompenses. — La rupture d'une tourie n'est pas un événement extraordinaire : c'est, au contraire, un fait qui s'est souvent produit dans les groupes de touries pleines, à la fabrique d'acide nitrique, et là, en plein air, on a toujours réussi à éviter tout danger d'incendie, en isolant la tourie en vidange et en l'arrosant d'un seau d'eau. La consigne, qui bornait à ces simples mesures les précautions à prendre en cas de rupture de tourie, pouvait donc être considérée comme suffisante, et cette consigne a d'ailleurs été rigoureusement exécutée et dans des conditions réellement difficiles.

Le directeur de la poudrerie et l'ingénieur chargé de la fabrication, d'un côté, et les ouvriers chargés de la surveillance, de l'autre, doivent donc être déchargés de toute responsabilité dans les conséquences de l'incendie, lequel doit être considéré comme un accident fortuit de fabrication et dont les pertes doivent incomber exclusivement à l'État.

Quant à la lutte contre le développement du feu, elle a été poursuivie, au milieu de sérieuses difficultés, avec toute l'intelligence et tout le dévouement qu'on pouvait attendre d'un personnel d'élite, et il y a même lieu de récompenser ceux des agents subalternes qui se sont particulière-

Digitized by Google

ment distingués dans cette nuit du 13 juillet, pendant laquelle tout le monde a fait son devoir.

Paris, le 1er août 1892.

L'inspecteur général
des poudres et salpêtres,
G. MAUROUARD.

N° 174.

SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES.

(Lettre collective n° 5.)

Paris, le 19 avril 1893.

Messieurs, à la suite d'un accord intervenu entre les départements de la guerre, de l'intérieur et des finances, il a été décidé que les fabricants d'artifices seraient désormais soumis à la surveillance technique des ingénieurs des poudres et salpêtres.

A cet effet, une circulaire de M. le ministre de l'intérieur, en date du 31 janvier dernier, a invité MM. les préfets à insérer à l'avenir, dans les arrêtés d'autorisation des fabriques de pièces d'artifices, une disposition portant que les ingénieurs des poudres et salpêtres ou les agents désignés par eux pourront pénétrer dans les fabriques et y procéder à toutes constatations utiles.

Les arrêtés concernant les fabriques précédemment autorisées devront être complétés dans le même sens.

L'État ne pouvant s'engager à fournir aux artificiers tous les mélanges que rend nécessaires l'exercice de leur industrie, des tolérances ont été prévues pour ces fabrications spéciales, et les ingénieurs des poudres et salpêtres devront s'inspirer, pour la surveillance technique des fabriques d'artifices, des règles ci-après, établies en vue de concilier les besoins de l'industrie avec les intérêts de la sécurité publique et du trésor.

Obligation de demander à la régie toutes les poudres servant aux détonations et interdiction de produire des poudres grenées similaires des poudres de l'État, soit par fabrication directe, soit par grenage du pulvérin surdosé ou non, soit par emploi de chlorates, prussiates, etc.

Digitized by Google

Obligation d'employer, en remplacement du poussier, le pulvérin livré par la régie à un prix très réduit.

Tolérance des opérations de surdosage du pulvérin de l'État par addition et mélange au tamis d'un ou deux des composants (salpêtres, soufre, charbon).

Tolérance de la préparation, en cas de besoins spéciaux auxquels le pulvérin de l'État n'est pas approprié, de mélange de salpêtre, soufre, charbon, etc., à la condition que les mélanges seront faits exclusivement au tamis, sans emploi de tonnes, meules ou autres appareils mécaniques.

Tolérance de la préparation, par les mortiers ou tamis et en petites quantités, de compositions chloratées ou autres destinées aux feux colorés.

L'organisation même de la surveillance technique des fabriques est réglée ainsi qu'il suit :

A chaque établissement du service des poudres et salpêtres est affectée une région du territoire indiquée au tableau ci-joint. La liste des fabriques autorisées dans chaque région est annexée au tableau.

La surveillance des fabriques sera assurée par des visites, soit périodiques, soit inopinées, d'un des ingénieurs de l'établissement. Ces visites, pouvant conduire soit à opérer des saisies, soit à dresser des procès-verbaux, seront faites avec le concours d'un employé supérieur de l'administration des contributions indirectes, qui sera informé à l'avance des jour et heure de chaque visite.

Si l'ingénieur constate l'existence, dans les fabriques d'artifices, de poudres similaires de celles de l'État et ne provenant pas des entrepôts, ou de produits explosifs fabriqués par des procédés non compris dans les tolérances spécifiées plus haut, il signalera ces poudres ou produits à l'agent de l'administration des contributions indirectes, qui décidera s'il y a lieu d'en faire saisir des échantillons et de faire dresser procès-verbal contre l'artificier. En cas de saisie, les échantillons seront envoyés à l'établissement des poudres et salpêtres de la circonscription et seront examinés d'urgence par un ingénieur fonctionnant comme expert de l'administration.

Les résultats de l'examen seront consignés dans un rapport qui me sera adressé en double expédition.

Digitized by Google

Indépendamment de ce rapport spécial à fournir en cas de saisie, l'ingénieur, à la suite de chacune de ses visites, établira et m'adressera un rapport d'ensemble contenant ses observations sur le fonctionnement de la fabrique d'artifices, sur la conformité des installations et préparations avec celles qui sont autorisées par l'arrêté préfectoral et sur les modifications que les dispositions de cet arrêté paraîtraient comporter.

Il me sera accusé réception de la présente lettre collective, dont les dispositions sont immédiatement applicables.

G^{al} LOIZILLON.

Digitized by Google

LISTE DES CIRCONSCRIPTIONS

attribuées aux divers établissements du service des poudres et salpêtres.

DÉSIGNATION DES ÉTABLISSEMENTS.	DÉPARTEMENTS.	OBSERVATIONS. — Nombre de fabriques.	
I. — Poudrerie de Saint-Ponce.....	Aisne.	1	1
	Ardennes.	»	
	Marne.	»	
	Meurthe-et-Moselle.	»	
	Meuse.	»	
II. — Poudrerie de Vonges.....	Ain.	»	4
	Belfort (Territoire de).	»	
	Côte-d'Or.	»	
	Doubs.	1	
	Jura.	»	
	Loire.	1	
	Marne (Haute-).	»	
	Rhône.	2	
	Saône (Haute-).	»	
	Saône-et-Loire.	»	
	Vosges.	»	
III. — Poudrerie de Saint-Chamas....	Alpes (Basses-).	2	16
	Alpes (Hautes-).	»	
	Bouches-du-Rhône (arrond. d'Aix et d'Arles).	5	
	Corse.	»	
	Drôme.	1	
	Isère.	»	
	Savoie.	1	
	Savoie (Haute-).	»	
	Vaucluse.	7	
IV. — Raffinerie de Marseille.....	Alpes-Maritimes.	1	7
	Bouches-du-Rhône (arrond. de Marseille).	5	
	Var.	1	

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES ÉTABLISSEMENTS.	DÉPARTEMENTS.	OBSERVATIONS. — Nombre de fabriques.	
V. — Poudrerie de Toulouse.....	Ariège.	»	4
	Aude.	»	
	Aveyron.	»	
	Gard.	2	
	Garonne (Haute-).	2	
	Hérault.	»	
	Lot.	»	
	Lozère.	»	
	Pyrénées-Orientales.	»	
	Tarn.	»	
	Tarn-et-Garonne.	»	
VI. — Poudrerie de Saint-Médard	Gers.	»	2
	Landes.	2	
	Pyrénées (Basses-).	»	
	Pyrénées (Hautes-).	»	
VII. — Raffinerie de Bordeaux.....	Dordogne.	»	2
	Gironde.	2	
	Lot-et-Garonne.	»	
VIII. — Poudrerie d'Angoulême.....	Ardèche.	»	1
	Cantal.	»	
	Charente.	»	
	Charente-Inférieure.	»	
	Corrèze.	»	
	Creuse.	»	
	Loire (Haute-).	»	
	Puy-de-Dôme.	»	
	Vienne.	1	
	Vienne (Haute-).	»	
IX. — Poudrerie du Ripault.....	Allier.	»	4
	Cher.	»	
	Deux-Sèvres.	»	
	Indre.	»	
	Indre-et-Loire.	1	
	Loiret.	1	
	Loir-et-Cher.	»	
	Maine-et-Loire.	1	
	Nièvre.	»	
	Sarthe.	1	
	Vendée.	»	

Digitized by Google

DÉSIGNATION DES ÉTABLISSEMENTS.	DÉPARTEMENTS.	OBSERVATIONS. — Nombre de fabriques.	
X. — Poudrerie du Pont-de-Buis.....	Loire-Inférieure.	2	2
	Mayenne.	»	
	Morbihan.	»	
XI. — Poudrerie du Moulin-Blanc.....	Côtes-du-Nord.	»	1
	Finistère.	»	
	Ille-et-Vilaine.	1	
XII. — Poudrerie d'Esquerdes.....	Pas-de-Calais.	»	2
	Somme.	2	
XIII. — Raffinerie de Lille.....	Nord.	1	1
XIV. — Poudrerie de Sevran-Livry ...	Aube.	»	5
	Calvados.	»	
	Eure-et-Loir.	»	
	Manche.	»	
	Orne.	1	
	Seine.	4	
	Seine-et-Oise.	»	
	Seine-et-Marne.	»	
	Yonne.	»	
XV. — Laboratoire central.....	[illegible].	»	2
	[illegible].	»	
	Seine-Inférieure.	2	

Digitized by Google

Fabriques d'artifices. — Situation au 31 décembre 1892.

NOMS des départements.	NOMS des artificiers.	SITUATION DE LA FABRIQUE.	ÉTABLISSEMENT DE VENTE DISTINCT de la fabrique.	DATE DE L'ARRÊTÉ d'autorisation.
Aisne.....	Caillaux.	Saint-Quentin, la vallée aux Oisons.	Saint-Quentin, rue St-Martin, 22.	19 juin 1884.
Alpes (Basses-).	Gondran.	Forcalquier, quartier Saint-Pontecave.	»	22 mai 1877.
	Gailhac.	» Saint-Michel.	»	22 mai 1877.
Alpes-Maritimes.	Stevano.	Nice, route de Saint-Pons.	Nice, rue Saint-Victor, 3.	17 août 1878.
Bouches-du Rhône	Viau, Étienne.	Aix, quartier du Pigeonnier.	Aix, Pélissanne.	12 août 1891.
	Bonnaud, f. Barbier.	Graus.	»	14 mai 1892.
	Douzon.	Arles, pont de Crau.	»	30 avril 1880.
	Peyron.	Lamanon, quartier de la Guérite.	»	10 juillet 1861.
	Matheron.	Eyguières, quartier du Pin.	»	26 novembre 1860.
	Tibaud.	Saint-Pierre, quartier Saint-Pierre.	»	26 janvier 1889.
	Deferrari.	Aubagne, quartier du Pin-Vert.	»	22 janvier 1891.
	Pounet.	Gréasque.	»	5 août 1889.
	Roure.	Marseille, boulevard de Roux, 67.	Marseille, bd de la Madeleine, 167.	15 juin 1886.
	Mouriès.	Marseille, quartier des Chartreux.	»	10 août 1859.
Doubs.....	Boulangé.	Besançon, champ Forgeron.	»	Arrêté non encore pris.
Drôme.....	Segond.	Valence, quartier des Beaumes.	»	6 août 1891.
Gard.....	Peytier.	Nîmes, quartier de Grézan.	»	10 décembre 1877.
	Granier.	Bagnolo, quartier de l'Ancide.	»	24 janvier 1883.
Garonne (Haute-)	Lacroix.	Toulouse.	»	3 août 1882.
	Floutier.	Toulouse.	»	3 août 1882.
Gironde.....	Lacaze.	Bordeaux, boulevard du Tondu.	Bordeaux, rue Salivau, 1.	20 février 1884.
	Varinot.	Mérignac, Le Lognac.	» 28.	26 mai 1891.
Ille-et-Vilaine...	Denis.	Rennes, avenue du Mail d'Anges.	»	8 novembre 1892.
Indre-et-Loire...	Besnard.	Tours, pont du Sanitas.	Tours, rue Marceau, 19.	18 juin 1892.
Landes.....	Marmayon.	Orist.	»	7 décembre 1889.
	Saint-Martin.	Garrey.	»	26 février 1881.
Loire.....	Pacalet.	Saint-Étienne, Moncey.	Saint-Étienne, rue du Gd-Gomet, 11.	5 mai 1882.
Loire-Inférieure.	Petit-Desmaisons.	Nantes, quai de Versailles.	»	22 août 1884.
	Lombard.	Chantenay.	»	4 décembre 1891.
Loiret.....	Ruet.	Saran-la-Fontaine.	»	10 août 1889.

Digitized by Google

Fabriques d'artifices. — Situation au 31 décembre 1892 (suite).

NOMS des départements.	NOMS des artificiers.	SITUATION DE LA FABRIQUE.	ÉTABLISSEMENT DE VENTE DISTINCT de la fabrique.	DATE DE L'ARRÊTÉ d'autorisation.
Maine-et-Loire..	Grolleau.	Angers, chemin de la Brispotière.	Angers, rue d'Alsace, 20.	Arrêté non encore pris.
Nord.....	de Bar.	Marcq-en-Barœul.	»	25 novembre 1884.
Orne.....	Guyon.	Alençon, rue de la Billaudière, 6.	»	20 mars 1874.
Rhône.....	Oudot.	Villeurbanne, les Charpennes.	»	25 juin 1883.
	Mlle Davin.	Villeurbanne, chemin des Pins.	»	11 mars 1879.
Sarthe.....	Kervella.	Le Mans, vieux chemin d'Arnaje.	»	17 octobre 1892.
Savoie.....	Collombert.	Aix-les-Bains.	»	21 janvier 1881.
Seine.	Aubin.	Malakoff, lieu dit « les Carrières ».	Paris, rue de Rennes, 167.	16 juin 1891.
	Balossier.	Bagneux, lieu dit « le Premier-Hardi ».	Paris, avenue d'Orléans, 140.	20 mars 1889.
	Delaperrière et Didax	Saint-Denis, route de la Révolte, 223.	Paris { rue d'Amsterdam, 94. rue Lafayette, 153.	8 avril 1891.
	Pinet.	Aubervilliers, rue Saint-Denis, 17.	Paris, Faubourg-Saint-Denis, 140.	19 février 1892.
Seine-Inférieure.	Bigot.	Sainte-Adresse, Stand des Sociétés de tir.	»	16 décembre 1890.
	Guérard.	Graville, rue du Bocage, 23.	»	7 mai 1843.
	Lebrument.	Petit-Quevilly, rue Guillaume-Lecointe.	»	14 février 1891.
	Davey et Cie.	Petit-Quevilly.	»	17 août 1872.
	Cartier.	Rouen, côte Sainte-Catherine.	»	20 juin 1854.
	Duchemin.	Deville-les-Rouen.	Rouen, place Saint-Sever, 33 *bis*.	22 septembre 1891.
Somme.....	Taveaux.	Amiens, route de Cagny.	»	29 mai 1884.
	Née.	Epchy.	»	12 mars 1886.
Var.....	Morand.	Lavalatte, quartier des Cros.	»	4 juin 1887.
Vaucluse.....	Clantevin.	Vaison, quartier de Queras.	»	18 décembre 1892.
	Aulagne et Cie.	Monteux.	»	8 juin 1887.
	Tiolet frères et Cie.	Monteux.	»	13 juin 1888.
	Berthier et Cie.	Monteux.	»	10 février 1890.
	Dame.	Avignon.	»	30 mars 1892.
	Jean.	Saint-Didier.	»	28 novembre 1887.
	Aguelier.	Perthuis, quartier de l'Espignon.	»	Arrêté du 25 fév. 1893.
Vienne.....	Desvignes.	Neuville.	»	Arrêté non encore pris.

Digitized by Google

SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES.

DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES.

(Circulaire n° 59, du 3 juin 1893.)

Par la lettre commune n° 60, du 18 février dernier, l'administration fait connaître l'accord intervenu entre les départements de la guerre, de l'intérieur et des finances, au sujet de l'établissement de la surveillance technique des fabriques d'artifices.

Il reste maintenant à régler les conditions dans lesquelles devra s'exercer la surveillance des agents des poudres et salpêtres dans les fabriques et à déterminer le concours qu'auront à prêter à ces agents les employés des contributions indirectes.

A cet effet, voici, après entente avec le ministère de la guerre, les dispositions qui ont été arrêtées.

En principe, et sauf l'exception consacrée par la loi du 8 mars 1875, la loi réserve à l'État le privilège exclusif de la fabrication de la poudre et, d'après la jurisprudence, ce privilège s'étend à la fabrication de toutes matières susceptibles de produire des effets analogues ou identiques à ceux de la poudre noire.

Or, tous les produits sans exception usités dans la fabrication des artifices rentrent dans cette catégorie et devraient, par une application rigoureuse du monopole, être fournis par l'État.

Mais ce dernier, ne pouvant s'engager à fournir aux artificiers tous les mélanges que rend nécessaires l'exercice de leur industrie, des tolérances ont été prévues pour ces fabrications spéciales, et les ingénieurs des poudres et salpêtres ont été invités à s'inspirer, pour la surveillance technique des fabriques d'artifices, des règles ci-après, établies en vue de concilier les besoins de l'industrie avec les intérêts de la sécurité publique et du trésor :

Obligation de demander à la régie toutes les poudres servant aux détonations, et interdiction de produire des poudres grenées similaires des poudres de l'État, soit par fabrication directe, soit par grenage du pulvérin surdosé ou non, soit par emploi de chlorates, prussiates, etc.;

Obligation d'employer, en remplacement du poussier, le pulvérin livré par la régie à un prix très réduit;

Tolérance des opérations de surdosage du pulvérin de l'État par addition et mélange, au tamis, d'un ou deux des composants (salpêtre, soufre, charbon);

Digitized by Google

Tolérance de la préparation, en cas de besoins spéciaux auxquels le pulvérin de l'État n'est pas approprié, de mélanges de salpêtre, soufre, charbon, etc., à la condition que les mélanges seront faits exclusivement au tamis, sans emploi de tonnes, meules ou autres appareils mécaniques;

Tolérance de la préparation, par les mortiers ou tamis et en petites quantités, de compositions chloratées ou autres destinées aux feux colorés.

L'organisation même de la surveillance technique des fabriques est réglée ainsi qu'il suit :

A chaque établissement du service des poudres et salpêtres est affectée une région du territoire indiquée au tableau annexé à la présente circulaire.

La surveillance des fabriques sera assurée par des visites, soit périodiques, soit inopinées, d'un des ingénieurs de l'établissement. Ces visites, pouvant conduire soit à opérer les saisies, soit à dresser des procès-verbaux, seront faites avec le concours d'un employé supérieur des contributions indirectes. Le directeur du département, qui sera informé, à l'avance, des jour et heure de chaque visite, préviendra sans retard l'employé supérieur qu'il aura désigné, de préférence un inspecteur, lequel, pour la validité des constatations qu'il pourrait y avoir lieu d'effectuer, sera assisté d'un autre agent.

Si l'ingénieur constate l'existence, dans les fabriques d'artifices, de poudres similaires de celles de l'État et ne provenant pas des entrepôts, ou de produits explosifs fabriqués par des procédés non compris dans les tolérances spécifiées plus haut, il signalera ces poudres ou produits aux employés des contributions indirectes, qui en prélèveront aussitôt trois échantillons et déclareront provisoirement procès-verbal contre l'artificier, en ayant soin de remettre la rédaction de l'acte à une date ultérieure. Les matières sur lesquelles des échantillons auront été prélevés pourront être laissées à la garde de l'artificier, qui en demeurera responsable. Deux des échantillons seront ensuite envoyés à l'établissement des poudres et salpêtres de la circonscription et seront examinés d'urgence par un ingénieur fonctionnant comme expert de l'administration.

Les résultats de l'examen seront portés plus tard à la connaissance du directeur pour la suite à donner au procès-verbal provisoirement déclaré.

Toutes ces dispositions sont immédiatement applicables.

Le conseiller d'état, directeur général,
A. CATUSSE.

Digitized by Google

N° 173.

DYNAMITE. — FABRICATION DE NOUVEAUX TYPES.

(Lettre collective n° 6.)

Paris, le 21 juin 1893.

Messieurs, aux termes de l'arrêté interministériel du 15 février 1893, publié au *Journal officiel* du 3 mars suivant, les fabricants de dynamite ne pourront, sans l'autorisation du ministre du commerce, de l'industrie et des colonies, modifier la nature ou le dosage des matières entrant dans la composition de leurs produits. Les demandes devront être adressées au ministère du commerce et comprendre l'indication précise des procédés de fabrication. En outre, un échantillon des types nouveaux de dynamite sera remis à l'agent des poudres et salpêtres, chargé de la surveillance de l'usine.

Les autorisations d'importation accordées pour des dynamites provenant de fabriques étrangères s'appliquent, de même, exclusivement aux types mentionnés dans les arrêtés d'autorisation, et les importateurs doivent, pour introduire des dynamites d'autres compositions, solliciter et obtenir une nouvelle autorisation.

Vous trouverez, ci-joint, le tableau, pour les trois fabriques fonctionnant en France et pour les deux fabriques belges admises à l'importation, des types de dynamite qui sont aujourd'hui préparés et livrés à la consommation, et dont la fabrication peut être poursuivie sans autorisation nouvelle.

Les directeurs des poudreries nationales de Toulouse, Sevran-Livry, Saint-Ponce, et de la raffinerie nationale de Lille, de qui relèvent les agents détachés dans les dynamiteries, sont chargés d'assurer, chacun en ce qui le concerne, l'exécution des mesures qui font l'objet de la présente lettre collective.

Je vous prie, messieurs, de m'accuser réception de ce document.

G^al^ LOIZILLON.

Digitized by Google

TABLEAU DES DIVERSES DYNAMITES

actuellement fabriquées dans les dynamiteries françaises ou étrangères soumises à la surveillance permanente des agents des poudres et salpêtres.

PAULILLES (Pyrénées-Orientales) et SAINT-SAUVEUR (Calvados).

		Pour 100. kg
Gomme	Nitroglycérine	83,000
	Coton nitré	5,000
	Nitrate de soude	10,000
	Cellulose	2,000
N° 1. Guhr	Nitroglycérine	75,000
	Guhr	24,750
	Carbonate de soude	0,250
Gélatine	Nitroglycérine	57,000
	Coton nitré	3,000
	Nitrate de soude	34,000
	Cellulose	6,000
Ammoniaque	Nitroglycérine	40,000
	Nitrate d'ammoniaque	45,000
	Nitrate de soude	4,700
	Cellulose	10,000
	Ocre	0,300
N° 0	Nitroglycérine	70,000
	Cellulose	29,750
	Carbonate de soude	0,250
Grisoutine B	Nitroglycérine	11,760
	Coton nitré	0,240
	Nitrate d'ammoniaque	88,000
Grisoutine F	Nitroglycérine	19,600
	Coton nitré	0,400
	Nitrate d'ammoniaque	80,000

Digitized by Google

		Pour 100. kg
Geisoutine-gomme....	Nitroglycérine	29,100
	Coton nitré	0,900
	Nitrate d'ammoniaque	70,000
N° 2.	Nitroglycérine	35,000
	Nitrate de soude	52,000
	Cellulose	13,000
N° 3.	Nitroglycérine	22,000
	Charbon	12,000
	Nitrate de soude	66,000

CUGNY (Seine-et-Marne).

Gomme J.	Nitroglycérine	92,000
	Coton azotique	8,000
Gomme B.	Nitroglycérine	82,000
	Nitrate de potasse	9,000
	Coton azotique	6,000
	Cellulose	3,000
Gomme B^{a}.	Nitroglycérine	69,500
	Coton azotique	5,500
	Nitrate de potasse	24,750
	Cellulose	0,250
N° 1. Gélatiné.	Nitroglycérine	57,500
	Coton azotique	2,500
	Nitrate de potasse	32,000
	Cellulose	8,000
N° 0.	Nitroglycérine	74,000
	Cellulose	26,000
N° 1.	Nitroglycérine	75,000
	Guhr	25,000
N° 2.	Nitroglycérine	48,000
	Nitrate de potasse	39,000
	Cellulose	13,000

Digitized by Google

			Pour 100. kg
N° 3		Nitroglycérine	25,000
		Charbon	12,000
		Nitrate de potasse	63,000
Grisoutines avec coton azotique	12 pour 100.	Nitroglycérine	11,750
		Coton azotique	0,250
		Nitrate d'ammoniaque	88,000
	20 pour 100.	Nitroglycérine	19,600
		Coton azotique	0,400
		Nitrate d'ammoniaque	80,000
	30 pour 100.	Nitroglycérine	29,400
		Coton azotique	0,600
		Nitrate d'ammoniaque	70,000

MATAGNE-LA-GRANDE (Belgique).

Dynamite n° 1	Nitroglycérine	75,000
	Kieselguhr	25,000
Dynamite-gomme	Nitroglycérine	87,000
	Nitrocellulose	13,000
Dynamite-gélatine	Nitroglycérine	67,000
	Salpêtre	20,000
	Nitrocellulose	3,000
	Cellulose	10,000

BAELEN-SUR-NÈTHE (Belgique).

Forcite extra	Nitroglycérine	64,000
	Nitrocellulose	3,500
	Farine de bois	6,500
	Nitrate d'ammoniaque	25,000
	Magnésie	1,000
Forcite supérieure	Nitroglycérine	64,000
	Nitrocellulose	3,000
	Farine de bois	8,000
	Nitrate de soude	24,000
	Magnésie	1,000

Digitized by Google

		Pour 100. kg
Forcite n° 1	Nitroglycérine	49,000
	Nitrocellulose	2,000
	Farine de bois	13,000
	Nitrate de soude	36,000
Forcite n° 2	Nitroglycérine	36,000
	Nitrocellulose	3,000
	Farine de bois	11,000
	Nitrate de soude	35,000
	Magnésie	1,000
	Son de seigle	14,000

Arrêté le 8 mars 1893.

Pour le ministre et par son ordre :

L'inspecteur général, directeur,
Signé : CH. ARNOULD.

Digitized by Google

ALLEMAGNE.

N° 1.

LOI DU 9 JUIN 1884

contre l'usage criminel et présentant un danger public des substances explosives.

Nous, GUILLAUME, par la grâce de Dieu empereur d'Allemagne, roi de Prusse, etc.,

Ordonnons, au nom de l'empire, après assentiment du conseil fédéral et du reichstag, ce qui suit :

§ 1. — La fabrication, le débit et la détention de substances explosives, ainsi que leur importation, ne peuvent se faire qu'avec l'autorisation de la police, sans préjudice des autres prescriptions en vigueur.

Toute personne s'occupant de la fabrication ou du débit de substances explosives doit tenir un registre indiquant les quantités des substances explosives fabriquées, importées de l'étranger ou autrement procurées pour le débit, ainsi que les sources de provenance et le lieu de dépôt. Ce registre doit être présenté à l'autorité compétente en tout temps et à toute réquisition.

Sous réserve de dispositions différentes de droit local, les dispositions des alinéa 1 et 2 ne s'appliquent pas aux substances explosives qui s'emploient de préférence pour le tir. La désignation de ces explosifs a lieu par décision du conseil fédéral.

Les dispositions des alinéa 1 et 2 ne s'étendent pas non plus aux substances explosives fabriquées, détenues, importées ou débitées par l'administration compétente pour l'usage des autorités impériales ou régionales.

§ 2. — Les autorités centrales des états confédérés émettent les règlements nécessaires à l'exécution des dispositions du § 1, alinéa 1 et 2, et du § 15, et désignent les autorités qui ont à statuer sur les demandes en

Digitized by Google

autorisation de fabriquer, débiter, détenir et importer des substances explosives.

§ 3. — Les réclamations contre les décisions refusant l'autorisation ne doivent s'adresser qu'à l'autorité d'inspection dans le délai de 14 jours. La réclamation n'a pas d'effet suspensif.

§ 4. — L'autorisation exigée par le § 1, alinéa 1, est révocable. La réclamation contre la révocation est régie par la disposition du § 3 de la présente loi.

§ 5. — Celui qui, intentionnellement, occasionne du danger pour la propriété, la santé ou la vie d'autrui par l'usage de substances explosives, est puni des travaux forcés.

Si le maniement a occasionné mutilation grave, la peine est de 5 ans au moins et, en cas de mort, d'au moins 10 ans ou à perpétuité.

Si l'acte a occasionné la mort et que l'auteur de cet acte ait pu prévoir un tel résultat, la peine de mort devra être prononcée.

§ 6. — Si plusieurs personnes se sont concertées en vue d'exécuter un ou plusieurs actes punis par le § 5 ou se sont engagées à commettre avec suite des actes de cette nature, bien que non encore déterminés en détail, ces personnes sont punies de 5 ans de travaux forcés au moins, même quand la résolution de l'engagement criminel n'a pas encore été mise en œuvre par des actes qui constituent un commencement d'exécution.

§ 7. — Celui qui prépare, se procure, commande ou possède des substances explosives dans l'intention d'occasionner par leur usage du danger pour la propriété, la santé ou la vie d'autrui, ou de mettre d'autres personnes en état de commettre ce crime, est passible de 10 années de travaux forcés.

Est passible de la même peine celui qui laisse des substances explosives à la disposition d'autres personnes, tout en sachant que ces substances sont destinées à servir pour commettre un des crimes prévus par le § 5.

§ 8. — Celui qui prépare, se procure, commande, a sciemment en sa possession ou laisse à la disposition d'autres personnes des explosifs dans des circonstances qui n'indiquent pas qu'il le fait dans un but autorisé, est passible de 5 ans de travaux forcés ou d'au moins 1 an d'emprisonnement. Cette disposition ne s'applique pas aux substances désignées par le conseil fédéral, conformément au § 1, alinéa 3.

§ 9. — Celui qui, contrairement à la prescription de l'alinéa 1 du § 2, entreprend, sans autorisation de la police, de préparer, importer, détenir, vendre ou autrement mettre à la disposition du public des explosifs, ou

Digitized by Google

celui qui est trouvé en possession de substances de cette nature, sans pouvoir justifier d'une autorisation de police à cet effet, doit être puni de 3 mois à 2 ans de prison.

Est passible de la même peine celui qui contrevient aux prescriptions du § 1, alinéa 2, aux règlements établis par les autorités centrales, conformément au § 2 ou aux arrêtés de police, déjà en vigueur ou à intervenir, sur le trafic des substances explosives auxquelles s'applique le § 1, alinéa 1.

§ 10. — Celui qui provoque publiquement, devant une foule ou une réunion, ou par la distribution, l'affichage ou l'exposition publics d'écrits ou d'autres pièces, ou dans des écrits ou autres pièces, à commettre une des actions répréhensibles désignées dans les §§ 5 et 6, ou à participer à une de ces actions, est puni de travaux forcés.

Est passible de la même peine celui qui, de la manière ci-dessus désignée, excite ou engage à commettre les actions mentionnées à l'alinéa 1, surtout en en faisant l'apologie ou la glorification.

§ 11. — Dans les cas visés par les §§ 5, 6, 7, 8 et 10, on peut prononcer la surveillance de police. Dans les cas prévus par les §§ 5, 6, 7 et 8 et en cas d'application des dispositions pénales du § 9, on doit prononcer la confiscation des objets employés ou destinés à la fabrication des substances explosives, ainsi que des quantités d'explosif trouvées en la possession du condamné, sans distinguer si ces objets et explosifs appartiennent à ce dernier ou non.

§ 12. — Les dispositions du § 4, alinéa 2, n° 1 du code pénal de l'empire allemand, sont également applicables aux crimes prévus par les §§ 5, 6, 7, 8 et 10 de la présente loi.

§ 13. — Est passible de la peine fixée par le § 139 du code pénal de l'empire allemand celui qui, ayant eu connaissance, d'une manière digne de foi, du projet d'un crime prévu par le § 9, ou d'un complot prévu par le § 6 ou de l'existence d'un crime prévu et puni par le § 7 de la présente loi, néglige d'en informer en temps utile la personne menacée ou l'autorité.

§ 14. — Les §§ 1, 2, 3, 4, 9 de la présente loi entrent en vigueur 3 mois après sa promulgation; les autres dispositions entrent en vigueur le jour de la promulgation.

§ 15. — Pour les personnes qui, à l'entrée en vigueur des §§ 1, 2, 3, 4, 9 de la présente loi, se trouvent déjà en possession de substances explosives ou qui, antérieurement à cette date, s'occupaient professionnellement de la fabrication ou du débit des substances explosives, les dispositions du

Digitized by Google

§ 9, alinéa 1, ne deviennent applicables que deux semaines après l'entrée en vigueur des paragraphes susmentionnés. Si, dans ce délai, lesdites personnes ont adressé à l'autorité compétente une demande à l'effet d'obtenir l'autorisation de police exigée par le § 1, alinéa 1, les dispositions susvisées ne deviennent applicables qu'une semaine après notification de la décision de la dernière instance concluant au rejet de la demande.

Authentique, revêtu de notre haute signature et du sceau impérial.

Berlin, le 9 juin 1884.

GUILLAUME.

PRINCE DE BISMARCK.

N° 2.

ORDONNANCE DE SEPTEMBRE 1884.

En vertu du § 2 de la loi contre l'usage criminel et présentant un danger public des substances explosives, en date du 9 juin 1884, il est arrêté ce qui suit :

§ 1. — Décident en première instance sur les demandes en autorisation de fabriquer, débiter, posséder, importer des explosifs, les conseils régionaux, dans les villes de plus de 10 000 habitants, les autorités de police locale. Dans la province de Hanovre, ces demandes sont soumises à la décision des chefs d'administration jusqu'à l'entrée en vigueur de la loi sur l'administration régionale et sur la compétence; dans les villes régies par l'ordonnance municipale revisée de Hanovre du 24 août 1858, elles sont soumises à la décision des autorités municipales. Après l'entrée en vigueur de la loi ci-dessus mentionnée, elles sont soumises à la décision des conseils régionaux, et, dans les villes ci-dessus désignées (à l'exception de celles indiquées dans le § 27, alinéa 2, de l'ordonnance d'arrondissement du 6 mai 1884), à la décision des autorités municipales.

Est compétente l'autorité dans le district de laquelle demeure le postulant en autorisation.

Les autorités d'inspection sont, dans le sens de la loi citée, les présidents de gouvernement (Regierungspraesidenten) pour les provinces de Prusse orientale, Prusse occidentale, Brandenbourg, Poméranie, Silésie, Saxe et Hohenzollern; les gouvernements pour les autres provinces.

§ 2. — L'autorité décide sur la demande comme bon lui semble. Elle

Digitized by Google

n'est tenue d'expliquer les motifs du refus de l'autorisation qu'à l'autorité d'inspection.

Aux personnes qui, à l'entrée en vigueur des §§ 1, 2, 3, 4, 9 de la loi, exerçaient la fabrication des explosifs en vertu d'une autorisation accordée conformément au § 16 de l'ordonnance sur l'industrie ou s'occupaient de la vente de substances explosives par profession constante, l'autorisation ne peut être refusée que lorsqu'il y a contre elles des faits établissant leur déloyauté. En général, il y a lieu de conclure à pareille déloyauté, lorsque ces personnes se sont rendues coupables d'envoi d'explosifs sous une fausse déclaration ou de toute autre infraction, commise sciemment ou par négligence grave, aux prescriptions sur le magasinage, la conservation ou l'expédition des explosifs.

L'autorisation de fabriquer, débiter et importer les substances explosives implique l'autorisation d'en posséder.

Les certificats d'autorisation doivent être revêtus du sceau officiel ou de celui de l'autorité par laquelle ils sont délivrés.

§ 3. — Le débit des substances explosives ne peut se faire que par les personnes qui possèdent l'autorisation mentionnée dans le § 1, alinéa 1 de la loi.

§ 4. — Pour le registre que l'on doit tenir, conformément au § 1, alinéa 2 de la loi, on doit faire application du modèle ci-joint.

§ 5. — Les envois de substances explosives venant de l'étranger et destinés à une localité de l'intérieur du pays, ne peuvent être introduits en Allemagne qu'à la condition que le certificat d'autorisation conférant au destinataire le droit d'importer des substances explosives soit joint aux autres documents qui accompagnent l'envoi.

§ 6. — En cas de retrait d'une autorisation accordée conformément au § 1, alinéa 1 de la loi, le certificat d'autorisation doit être rendu à l'autorité.

Le retrait doit ensuite être publié par le *Moniteur officiel de l'empire allemand et de Prusse*.

[Cette ordonnance primitivement rendue pour la Prusse, est également en vigueur, avec modifications correspondantes, dans les autres États de la confédération depuis septembre 1884.]

Digitized by Google

MODÈLE DE REGISTRES.

I. — *Registre de dépôt.*

NUMÉRO D'ORDRE.	DÉSIGNATION DE LA PERSONNE qui a fait l'inscription.	JOUR ET HEURE DE RÉCEPTION de substance explosive au dépôt.	NOM DE LA SUBSTANCE explosive.	EMBALLAGE (RÉCIPIENT), ETC.	QUANTITÉ EN POIDS, mesure, nombre des cartouches, etc.	INDICATION PRÉCISE DE LA SOURCE de provenance (préparation personnelle ou fabrique, nom, condition, domicile et identité du vendeur ou autre fournisseur).	JOUR ET HEURE de l'inspection de police.	QUANTITÉ TROUVÉE à l'inspection.	SIGNATURE DU FONCTIONNAIRE qui a fait l'inspection.	OBSERVATIONS.

II — *Registre de sortie.*

NUMÉRO D'ORDRE.	NOM DE LA PERSONNE qui a fait la livraison et l'inscription.	JOUR ET HEURE DE LA SORTIE.	NOM, CONDITION ET DOMICILE du destinataire.	DATE DU CERTIFICAT D'AUTORISATION et désignation de l'autorité qui l'a délivré.	DÉSIGNATION DE L'EXPLOSIF.	QUANTITÉ (poids, mesure, nombre des cartouches, etc.).	EMBALLAGE.	JOUR ET HEURE de l'inspection de police.	QUANTITÉ TROUVÉE à l'inspection.	SIGNATURE DU FONCTIONNAIRE qui a fait l'inspection.	OBSERVATIONS.

Digitized by Google

N° 3.

ORDONNANCE DE POLICE DU 19 OCTOBRE 1893

relative au commerce des substances explosives (1).

§ 1. — Les dispositions suivantes comprennent :

1° L'expédition des substances explosives par voie de terre et par eau, à l'exception des chemins de fer, du service postal et du transport des explosifs et des munitions des services de la guerre et de la marine, ainsi que l'expédition des explosifs par bateaux marchands;

2° Le commerce des substances explosives;

3° La conservation et le débit des substances explosives dans la zone d'exploitation des mines, carrières, bâtiments et établissements industriels;

4° L'emmagasinage des substances explosives, à l'exception des dépôts et magasins des services de la guerre et de la marine.

N'appartiennent pas aux substances explosives dans le sens des présents règlements :

a. Les artifices non détonants, réglementaires pour l'armée et la marine;

b. Les amorces, capsules et cartouches pour armes à feu;

c. Les cordeaux pour mise de feu.

I. — Dispositions générales.

§ 2. — Sont admis au commerce dans le sens du § 1, alinéas 1 à 3 :

1° La *poudre noire* (mélange très intime de divers nitrates à réaction neutre avec du charbon ou des substances dont les éléments essentiels sont le carbone, l'hydrogène et l'oxygène, avec ou sans soufre);

2° Les préparations suivantes à base de nitroglycérine :

a. *Dynamite I* (mélange de nitroglycérine avec des substances inexplo-

(1) Ces règlements sont déjà en vigueur dans certains États de la confédération et deviennent applicables dans les autres États à partir du 1er avril 1894.

L'expédition des explosifs par chemins de fer est réglée par les paragraphes correspondants de l'appendice B de l'ordonnance sur le trafic des chemins de fer d'Allemagne (voir le document n° 4 ci-après).

Digitized by Google

sibles et ininflammables par elles-mêmes, de consistance plastique et n'exsudant pas à la température ordinaire;

b. Dynamites II et III (dynamite au charbon, mélange de nitroglycérine avec des composés analogues à la poudre noire);

c. Gélatine détonante [mélange visqueux et élastique à la température ordinaire, composé de nitroglycérine gélatinisée par de la nitrocellulose, avec ou sans carbonates alcalins (ou terres alcalines) ou nitrates à réaction neutre];

d. Dynamite-gomme (mélange plastique à la température ordinaire, composé de nitroglycérine gélatinisée par de la nitrocellulose et de la sciure de bois, salpêtre et carbonates alcalins ou terres alcalines);

e. Carbonite (mélange de nitroglycérine avec des composés analogues à la poudre noire et avec des matières liquides, inexplosibles et ininflammables par elles-mêmes).

3° *Nitrocellulose* (poreuse, contenant au moins 20 pour 100 d'eau, et comprimée, non gélatinisée), en particulier le *coton-poudre* et le *coton-collodion*, ainsi que les mélanges de nitrocellulose et de nitrates à réaction neutre;

4° Les mélanges suivants qui contiennent des combinaisons nitrées de substances de la série aromatique :

a. Sécurite (mélange de nitrate d'ammoniaque, de nitrate de potasse et de binitrobenzol ou de substances analogues);

b. Roburite (mélange de chlorobinitrobenzol, chloronitronaphtaline ou chloronitrobenzol et nitrate d'ammoniaque);

5° *Cartouches, pétards, artifices, engins explosifs de mise de feu,* servant à mettre le feu aux charges (par exemple, *capsules détonantes*), *amorces;*

6° Tous les explosifs actuellement admis au transport par chemin de fer.

Pour les essais, on peut autoriser l'envoi, par des voies déterminées, de substances explosives non mentionnées ici, ainsi que la conservation et le débit de ces explosifs.

§ 3. — Sont exclues du commerce, dans le sens du § 1, alinéas 1 à 3, les substances explosives qui ne sont pas mentionnées par le § 2, en particulier :

1° La *nitroglycérine* pure et en solutions;

2° L'*or fulminant,* le *mercure fulminant,* l'*argent fulminant* et les composés préparés avec ces substances;

3° Les *sucres* et les *amidons nitrés,* et les mélanges préparés avec ces substances;

Digitized by Google

4° Les mélanges qui laissent exsuder de la nitroglycérine;

5° Les substances explosives :

a. Qui donnent une réaction acide [à l'exception de la poudre noire (§ 2, alinéa 1), de la sécurite (§ 2, alinéa 4 *a*) et de la roburite (§ 2, alinéa 4 *b*)], ou

b. Qui tendent à se décomposer spontanément à une température inférieure à +40° C., ou

c. Qui contiennent :

aa. Des chlorates [à l'exception des capsules détonantes et des amorces (§ 2, alinéa 5)] ou

bb. Des picrates, ou

cc. Du phosphore [à l'exception des amorces (§ 2, alinéa 5)], ou

dd. Du sulfure de cuivre;

6° Les substances explosives en cartouches, si les enveloppes sont imprégnées de nitroglycérine (alinéa 1) ou d'un autre liquide explosible, ou enduites extérieurement de substances explosives solides;

7° Les composés explosifs, dont les éléments, inexplosibles par eux-mêmes, sont maintenus séparés, dans un récipient fermé, par des cloisons ou par un système de robinets, jusqu'à ce que l'explosion soit déterminée par bris, déplacement des séparations ou ouverture des robinets.

§ 4. — Celui qui expédie des substances explosives en quantité supérieure à 35^{kg}, poids brut, doit, après indication du lieu de destination, faire viser la lettre de voiture par l'autorité de police locale du lieu d'expédition. La réception de l'envoi doit être constatée par le destinataire sur la facture de livraison jointe à la lettre de voiture. Les factures de livraison munies de cette constatation doivent toujours être présentées, sur réquisition, à l'autorité de police locale du lieu d'expédition.

§ 5. — Celui qui participe à l'expédition de substances explosives soumises aux prescriptions de la loi impériale du 9 juin 1884 contre l'usage criminel et présentant un danger public des explosifs, de manière à se trouver ainsi en possession de substances explosives (commissionnaires-expéditeurs, entrepreneurs de transport, conducteurs de transport), doit toujours porter sur lui, pendant la durée de cette possession, et présenter sur réquisition l'autorisation exigée pour la possession de substances explosives, ou une copie légalisée de ce document.

§ 6. — Les explosifs destinés à être expédiés par voie de terre ou par eau doivent être emballés dans des caisses ou barils en bois, maniables et d'une solidité qui corresponde au poids du contenu; les jointures de ces caisses ou barils doivent être hermétiquement ajustées, de manière que la

Digitized by Google

substance ne puisse s'échapper au dehors. Ces caisses ou barils ne doivent pas être munis de cercles ou bandes de fer.

Au lieu des récipients en bois, on peut aussi employer des barils (dits *américains*) faits de plusieurs couches de carton verni fort et dur.

Les récipients employés pour le transport de la poudre noire (§ 2, alinéa 1) ne doivent pas être munis de clous, vis ou autre objet en fer.

La poudre noire (§ 2, alinéa 1) et la poudre préparée avec de la nitrocellulose, avec ou sans salpêtre (§ 2, alinéa 3) peuvent être emballées dans des récipients métalliques, les récipients en fer exceptés. Avant l'emballage dans les barils ou caisses, ces substances doivent être enveloppées soit en paquets (récipients en fer-blanc) d'un poids de $2^{kg},5$ au plus, soit dans des sacs imperméables, confectionnés avec des étoffes solides; le poussier ou pulvérin doit être placé dans des sacs de cuir ou de toile caoutchoutée.

Les substances explosives énumérées dans le § 2, alinéas 2 et 3, ne doivent s'expédier qu'en cartouches, et non à l'état nu. Ces cartouches, ainsi que les cartouches de coton-poudre (§ 2, alinéa 3) doivent être réunies en paquets dans une enveloppe de papier. Il en est de même pour celles des substances explosives admises au trafic, conformément au § 2, alinéa 6, dont l'envoi par chemins de fer ne peut s'effectuer que sous forme de cartouches.

Les formes comprimées de coton-poudre, contenant au moins 15 pour 100 d'eau, ainsi que les cartouches de sécurite et de roburite (§ 2, alinéa 4) doivent également être emballées dans des boîtes en fer-blanc ou en carton.

Pour l'expédition du coton-poudre en pâte (§ 2, alinéa 3), contenant au moins 20 pour 100 d'eau, il est exigé un emballage dans des récipients hermétiquement fermés et à solides parois.

Les substances explosives de toutes sortes ne doivent jamais être munies d'artifices ou cordeaux de mise de feu, ni être emballées dans les mêmes récipients avec ces engins ou avec des cartouches pour armes à feu (§ 1, *b*).

Suivant leur contenu, les récipients servant d'emballage doivent être munis de l'inscription : poudre noire, poudre de nitrocellulose et nitrates, cartouches, pétards, artifices, engins de mise de feu, cartouches de dynamite, cartouches de dynamite au charbon, cartouches de gélatine détonante, cartouches de dynamite-gomme, cartouches de carbonite, coton-poudre, etc. Ces récipients doivent, en outre, être revêtus de la raison sociale ou marque de la fabrique dont proviennent les substances explosives, ou bien porter une mention, approuvée par l'autorité centrale et portée à la notoriété publique, pour désigner la fabrique.

Digitized by Google

Le poids brut des pièces d'envoi ne doit pas excéder 90^{kg} pour la poudre noire (§ 2, alinéa 1), le coton-poudre (§ 2, alinéa 3), les cartouches, pétards, artifices ou engins de mise de feu (§ 2, alinéa 5), et 35^{kg} pour les autres substances explosives. Ces fixations de poids ne s'appliquent pas à la poudre prismatique en gargousses.

L'emballage actuellement prescrit pour le transport par chemin de fer suffit également pour le transport par voie de terre ou par eau.

II. — DISPOSITIONS SPÉCIALES POUR LE TRANSPORT PAR VOIE DE TERRE.

§ 7. — Le transport des substances explosives sur des véhicules qui transportent des voyageurs est interdit.

Il n'y a lieu de faire exception que lorsque, dans des cas urgents de danger public, comme pendant l'amoncellement des glaces, par exemple, les cartouches nécessaires et le matériel nécessaire pour leur chargement doivent être rendus à destination dans le plus bref délai, sous bonne conduite.

§ 8. — Pendant l'emballage et le chargement, ainsi que pendant le déchargement et le déballage, on ne doit pas tenir de feu ni d'éclairage libre.

Il est également interdit de fumer.

Le chargement et le déchargement doivent s'effectuer en évitant soigneusement les secousses. Les récipients ne doivent donc pas être roulés ou jetés.

Lorsque, exceptionnellement, le chargement ou le déchargement ne se fait pas devant la fabrique ou le dépôt ou dans l'intérieur de ces locaux, on doit se munir, à cet effet, d'une autorisation de l'autorité de police locale.

§ 9. — Les récipients doivent être disposés sur le véhicule assez solidement pour être préservés contre le frottement, la secousse, le choc, l'écornement et la chute; en particulier, les barils ne doivent pas être placés debout, mais plutôt couchés, et être préservés contre tout roulement par des cales de bois ou par des couvertures de crin ou de paille.

§ 10. — Les substances explosives ne doivent pas être chargées ensemble avec des capsules, des artifices de mise de feu ou avec d'autres matières facilement inflammables.

Les substances énumérées au § 2, alinéas 2, 3 et 4, ne doivent pas être expédiées ensemble avec de la poudre noire (§ 2, alinéa 1), des cartouches, des pétards, des artifices, des engins de mise de feu (§ 2, alinéa 5) ou des cartouches pour armes à feu (§ 1, *b*).

§ 11. — Les véhicules servant au transport des substances explosives

Digitized by Google

doivent avoir des caissons à joints hermétiques, de façon que les explosifs ne puissent s'en échapper. Si les caissons sont ouverts par le haut, ils doivent être recouverts d'une bâche ininflammable bien ajustée (en toile imprégnée, par exemple).

L'avant et l'arrière des véhicules doivent également être recouverts de la même matière.

Les roues ne doivent être munies que de sabots en bois. En cas de verglas, il est permis de se servir de freins en fer (grattoirs), pourvu qu'ils soient complètement recouverts par le sabot.

Les véhicules doivent toujours être munis d'un signal d'avertissement reconnaissable de loin, lequel consiste en un drapeau noir avec un P blanc, constamment déployé.

§ 12. — Les véhicules qui transportent des substances explosives ne doivent jamais rester sans surveillance.

Sur ces véhicules ou à proximité, on ne doit jamais fumer ni tenir de feu ou de lumière libre.

§ 13. — Les véhicules qui transportent des substances explosives doivent marcher au pas, et les voitures ainsi que les cavaliers ne doivent passer à leur proximité qu'au pas.

Lorsqu'un transport se compose de plusieurs voitures, elles doivent conserver pendant le trajet un intervalle d'au moins 50^{m} de distance l'une de l'autre.

§ 14. — A chaque arrêt de plus d'une demi-heure, on doit se tenir à une distance de 300^{m} au moins des fabriques, ateliers et maisons d'habitation.

Dans le cas où l'on ne peut trouver de lieu d'arrêt convenable à la distance ci-dessus, l'autorité de police locale peut donner la permission d'en choisir un à une distance moindre, mais d'au moins 200^{m} des fabriques, ateliers et maisons d'habitation.

Lorsqu'il y a arrêt de plus d'une demi-heure à proximité de localités, on doit en aviser au plus tôt l'autorité de police locale; celle-ci doit prendre les mesures de précaution qui lui semblent nécessaires.

§ 15. — Les véhicules qui transportent des substances explosives doivent rester aussi éloignés que possible des trains de chemin de fer ou des locomotives chauffées, des chaudières à vapeur, des machines à labourer à vapeur et d'autres machines analogues.

Les voies situées à proximité du chemin de fer, ainsi que celles sur lesquelles sont établis des rails pour tramways à vapeur, ne doivent être suivies par ces véhicules que lorsque le lieu de destination n'est pas accessible pour les voitures de transport par d'autres chemins praticables.

Digitized by Google

§ 16. — Le passage par des localités constituant des agglomérations n'est permis que lorsque ces localités ne peuvent être évitées par les voitures de transport par des chemins praticables. Si ce passage ne peut être évité, le conducteur du transport doit en aviser l'autorité de police locale et attendre ses instructions avant d'entrer dans la localité. L'autorité de police locale doit indiquer l'itinéraire à suivre et le débarrasser autant que possible d'autres véhicules; elle doit aussi veiller à ce que le passage s'effectue sans arrêt inutile et en évitant tout danger particulier.

§ 17. — Lorsqu'on emploie pour le transport de substances explosives des véhicules munis de caissons solides, hermétiquement clos, ininflammables et fermés à clef pendant le transport, il n'y a lieu d'appliquer que les prescriptions du § 11, alinéas 3 et 4, du § 13, alinéa 1, et du § 14, étant entendu, pour ce dernier paragraphe, que la distance à conserver doit être de 200^{m}.

§ 18. — Si, en cours de route, l'état des matières explosives devient tel qu'il paraisse dangereux d'en continuer le transport, l'autorité de police locale, que le conducteur du transport doit avertir au plus tôt, doit prendre les dispositions nécessaires pour pouvoir traiter l'envoi sans danger, et cela, en ayant recours, suivant les circonstances, à un expert que l'expéditeur doit commettre sur sa demande.

En cas de danger immédiat, les substances explosives sont détruites par l'autorité de police aux frais de l'expéditeur, sans qu'il en soit avisé préalablement, si possible d'après les indications et sous la surveillance d'un expert.

§ 19. — Lorsque l'on fait des envois de substances explosives en quantités ne dépassant pas 30^{kg}, il n'y a lieu d'appliquer à ces envois que les §§ 7 à 10.

III. — Dispositions spéciales pour le transport par eau.

§ 20. — Sur les bateaux à vapeur qui transportent des personnes, on ne doit pas transporter de substances explosives; toutefois, on peut avoir sur ces bateaux autant de poudre à canon et artifices qu'il en faut pour donner des signaux.

La disposition exceptionnelle énoncée au § 7 s'applique également ici.

Les bacs qui passent des véhicules avec des substances explosives ne doivent pas transporter d'autres véhicules, ni de personnes.

§ 21. — Les §§ 7 à 10, 11 alinéa 4, 12 alinéa 1, 13 alinéa 2, 14, 18 et 19, sont applicables dans le sens correspondant au transport par bateau.

Lorsque l'on emploie, pour le transport des substances explosives, des

Digitized by Google

bateaux en fer ou en acier, munis de locaux de chargement hermétiquement clos et incombustibles et fermés à clef pendant le trajet, il n'y a lieu d'appliquer, dans le sens correspondant, des prescriptions mentionnées dans l'alinéa 1, que les §§ 8, 11 alinéa 4, 12 alinéa 1, 14, 18 et 19; les prescriptions du § 14 s'appliquent en admettant que la distance à conserver soit de 200m.

Pour le transport par bateaux, les cartouches des substances énumérées dans le § 2 alinéa 2, doivent être munies en outre d'une enveloppe empêchant la pénétration de l'eau ou de l'humidité (par exemple des bourses de caoutchouc, collées avec une solution de caoutchouc). Cette disposition ne s'applique pas au transport par bac.

Le chargement et le déchargement ne doivent se faire que dans un endroit désigné à cet effet par l'autorité de police locale, lequel doit être distant d'au moins 300 mètres de toute construction habitée. L'entrée de l'endroit servant d'embarcadère doit être interdite au public pendant qu'il est affecté à cet usage; et, lorsque, par exception, le déchargement ou le chargement se font dans l'obscurité, il doit être éclairé par des lanternes solidement fixées et élevées. Les récipients remplis de substances explosives ne doivent pas être rendus ou admis à l'embarcadère avant le commencement de l'embarquement.

§ 22. — Dans le bateau, les substances explosives doivent être rangées dans un local fermé à clef, aussi éloigné que possible des chaudières sur les bateaux à vapeur.

On ne doit emballer, dans les locaux ainsi utilisés ou dans les locaux contigus, ni amorces, ni cordeaux de mise de feu.

Les substances facilement inflammables, sauf la houille et le coke, ne doivent pas être chargées sur le même bâtiment.

§ 23. — S'il y a à passer des ponts tournants ou des écluses, le conducteur du transport doit avertir le gardien du pont ou de l'écluse et attendre des instructions avant le passage. Le gardien du pont ou de l'écluse doit prendre soin que le passage s'effectue sans arrêt inutile et en évitant les dangers particuliers. L'amarrage ne doit se faire que dans des endroits inaccessibles au public pendant le séjour du bateau.

L'autorité de police locale doit toujours être avisée au préalable et doit indiquer l'endroit et l'heure convenables et prescrire le détail des mesures de précaution.

IV. — Dispositions sur le commerce des explosifs ainsi que sur leur conservation et leur débit.

§ 24. — Celui qui veut mettre en vente des substances explosives doit

Digitized by Google

en aviser l'autorité de police locale. Celui qui veut mettre en vente des substances explosives qui sont soumises aux prescriptions de la loi impériale du 9 juin 1884 doit avoir à cet effet l'autorisation de police exigée par le § 1 de cette loi.

Les cartouches détonantes ne doivent pas être livrées par les fabriques et les commerçants ou leurs employés, par pièces et sans enveloppe, mais seulement dans les récipients prévus à cet effet par le § 6. Ces récipients doivent porter l'année de la fabrication dans l'usine et un numéro d'ordre de la fabrication annuelle. L'année et le numéro doivent être marqués en outre sur chaque cartouche explosive. En outre, on doit marquer sur chaque cartouche le nom de l'explosif, ainsi que la raison sociale ou la marque de fabrique, ou bien une mention approuvée par l'autorité centrale et portée à la connaissance du public, pour désigner la fabrique.

Dans les registres que l'on doit tenir conformément au § 1 alinéa 2 de la loi impériale du 9 juin 1884, on doit inscrire l'année et le numéro des cartouches achetées ou livrées (1).

§ 25. — Celui qui s'occupe de la fabrication ou de la vente de substances explosives qui ne sont pas soumises à la loi impériale du 9 juin 1884 doit tenir un registre des ventes et achats qui dépassent 1^{kg}. Ce registre doit indiquer les noms des vendeurs et des acheteurs, l'époque de l'achat et de la vente, les quantités des substances achetées et vendues, ainsi que, pour les cartouches explosives, l'année et le numéro des cartouches; il doit être présenté à toute réquisition de l'autorité de police. En ce qui concerne la tenue du registre, il y a lieu d'appliquer les prescriptions édictées en vertu de la loi impériale du 9 juin 1884.

§ 26. — La livraison de substances explosives à des personnes dont on peut craindre qu'elles en abusent, surtout à des personnes âgées de moins de seize ans, est interdite. Cette disposition ne s'applique pas aux jouets qui contiennent des quantités minimes d'explosif.

La livraison des substances explosives, qui sont soumises aux prescriptions de la loi impériale du 9 juin 1884, ne doit se faire par les fabriques, par les débitants et par leurs employés qu'à des personnes ayant le droit de posséder des substances explosives, d'après les règlements établis conformément au § 2 de cette loi. Pour les établissements de l'État qui n'ont pas besoin d'autorisation spéciale pour la possession de substances explosives, la livraison peut se faire à des personnes expressément autorisées à prendre livraison par l'administration de l'établissement.

---

(1) Les prescriptions du § 24, en tant qu'elles exigent la mention de l'année et des numéros des caisses, ne s'appliquent pas aux explosifs destinés à l'exportation.

Digitized by Google

§ 27. — Le débit des substances explosives qui sont soumises aux prescriptions de la loi impériale du 9 juin 1884, aux mineurs, ouvriers, etc., qui travaillent dans les mines, carrières, établissements industriels, etc., ne doit se faire que par les chefs d'exploitation, fonctionnaires ou surveillants, qui ont le droit de posséder des explosifs d'après les règlements établis conformément au § 2 de cette loi. Ces personnes sont obligées de tenir un registre de débit qui indique le nom de celui qui a reçu l'explosif, l'époque du débit, la quantité des substances débitées, ainsi que, pour les cartouches explosives, l'année et le numéro des cartouches. Dans les établissements de l'État qui n'ont pas besoin d'autorisation spéciale pour la possession de substances explosives, la distribution peut se faire par des personnes expressément autorisées à cet effet par l'administration de l'établissement.

Les chefs de mines, carrières, établissements industriels, sont obligés de prendre des mesures qui rendent impossible l'emploi par les mineurs, ouvriers, etc., des explosifs à des usages autres que celui auquel ils étaient destinés dans le service.

V. — Dispositions sur l'emmagasinage des substances explosives.

§ 28. — Lorsque, pendant l'emmagasinage, l'état des substances explosives devient tel qu'il semble dangereux de les conserver plus longtemps en dépôt, il y a lieu de faire application correspondante des prescriptions du § 19.

§ 29. — Celui qui exerce le commerce de poudre (§ 2 alinéa 1), d'artifices et amorces (§ 2 alinéa 5) ne doit pas :

1° Avoir au magasin de vente plus de $2^{kg},5$;

2° Avoir en dépôt une réserve de plus de 10^{kg}.

Sur la preuve de besoins spéciaux, la réserve autorisée sous l'alinéa 2 peut être élevée provisoirement à 15^{kg}.

La conservation doit avoir lieu dans un local isolé, toujours fermé à clef, où l'on n'entre jamais avec une lumière, situé dans le grenier et ne communiquant avec aucun tuyau de cheminée. Les récipients doivent correspondre aux dispositions du § 6 alinéas 1 et 2, et être munis de couvercles constamment fermés.

§ 30. — Les personnes auxquelles ne s'étendent pas les dispositions du § 29 doivent avoir une autorisation de l'autorité pour la détention de plus de $2^{kg},5$ des substances explosives énumérées dans ledit paragraphe.

§ 31. — Les quantités de ces explosifs, plus considérables que celles indiquées au § 29, doivent être conservées en dehors des localités habi-

Digitized by Google

tées, dans des magasins spéciaux, dont les conditions de sécurité ont été vérifiées par l'autorité. Lorsque les magasins sont à ciel ouvert, ils doivent être situés dans la zone d'action de paratonnerres bien installés et surveillés.

Lorsqu'il s'agit de magasins qui appartiennent à un service ressortissant à la surveillance de l'administration des mines, l'autorité de police doit procéder à l'examen de concert avec l'administration des mines.

Il peut être ordonné que les clefs de ces magasins restent entre les mains de l'autorité.

§ 32. — La conservation des substances explosives énumérées au § 29 sur le lieu de fabrication, ainsi que sur le lieu d'emploi, est soumise aux prescriptions du § 33.

§ 33. — Les substances explosives énumérées au § 2, abstraction faite des exceptions prévues par le § 29, ne doivent être conservées en dépôt que sur les lieux de fabrication, sur les lieux où ils doivent être employés immédiatement dans les limites d'une exploitation, ou dans des magasins spéciaux.

Pour l'emmagasinage sur les lieux de fabrication, on doit se conformer aux indications de l'autorité de police locale, à défaut de conditions spéciales stipulées lors de l'autorisation de l'établissement, conformément au § 16 de l'ordonnance sur l'industrie.

Les dépôts installés sur les lieux d'emploi, ainsi que les magasins spéciaux, doivent avoir l'approbation de l'autorité et être organisés suivant les instructions données par cette dernière.

Pour les dépôts ou magasins qui appartiennent à un service ressortissant à la surveillance de l'administration des mines, cette administration est substituée aux autres autorités.

Il peut être ordonné que les clefs des dépôts ou magasins restent entre les mains de l'autorité.

§ 34. — Les substances explosives autres que celles énumérées au § 2, et surtout celles mentionnées au § 3, ne doivent être conservées en dépôt que sur le lieu de fabrication.

Pour les essais, la conservation en dépôt de substances explosives nouvelles peut être permise par l'autorité dans d'autres endroits.

VI. — Dispositions pénales.

§ 35. — Les contraventions aux prescriptions qui précèdent sont punies conformément au § 367 n° 5 du Code pénal, si des peines plus rigou-

Digitized by Google

reuses ne sont pas encourues d'après la loi impériale du 9 juin 1884.

DISPOSITION FINALE.

Les ordonnances et prescriptions plus étendues de la police des mines, relatives à l'emploi des substances explosives dans les travaux de mines, ne sont pas modifiées par les dispositions qui précèdent.

N° 4.

ORDONNANCE DU 15 NOVEMBRE 1892,

modifiée par avis du 23 février 1893, pour le transport des marchandises sur les chemins de fer allemands (1).

(Extraits.)

§ 30.

Objets exclus du transport par chemins de fer ou admis conditionnellement.

A. Sont exclus du transport :

1.....
2.....
3.....

4. Tous les objets susceptibles d'inflammation spontanée ou d'explosion, autant qu'ils ne rentrent pas dans les cas prévus par l'annexe B, en particulier :

a. Nitroglycérine liquide, mélanges exsudants de nitroglycérine avec des corps explosifs par eux-mêmes (pour les dynamites-gommes, etc., voir annexe B, n° XXXVI, alinéas 5 et 6);

b. Mélanges non exsudants de nitroglycérine avec des matières pulvérulentes, non explosives par elles-mêmes (dynamites à base inerte) en vrac (pour les cartouches de dynamite, voir annexe B, n° XXXVI, alinéa 6);

c. Picrates et mélanges explosifs contenant des picrates ou des chlorates (pour les allumettes, etc., voir annexe B, N°s III et XXXVI *b*);

d. Fulminates de mercure, d'argent et d'or, et composés dans lesquels entrent ces produits (pour les capsules, amorces, bonbons et pois fulminants, voir annexe B, n°s II, XXXVI *a*, XLI, XLIV);

---

(1) *Verkehrs-Ordnung für die Eisenbahnen Deutschlands.*

Digitized by Google

e. Produits contenant du phosphore non combiné (pour les allumettes et amorces, voir annexe B, n^os^ III et XLIII);

f. Armes chargées.

B. Sont admis conditionnellement au transport :

1. Les objets désignés dans l'annexe B.

ANNEXE B.

Instructions sur les objets conditionnellement admis au transport.

(§ 30 B 1).

I.

(1). Les *pétards pour signaux d'arrêt sur les chemins de fer* doivent être solidement emballés dans des rognures de papier, de la sciure de bois ou du plâtre, ou enfin de toute autre manière, de façon à être assez espacés et assez solidement fixés pour que les boîtes en fer-blanc ne puissent pas se toucher l'une l'autre, ni toucher un autre corps étranger. Les caisses dans lesquelles l'emballage est fait doivent être en fortes planches, épaisses de 26^mm^ au moins, assemblées avec rainures et tenues par des vis à bois; ces caisses seront placées dans une seconde caisse aussi solide que la première; la caisse extérieure n'aura pas un volume de plus de 0^mc^,06.

(2). Les pétards ne sont admis au transport que si les lettres de voiture sont revêtues d'un certificat de l'autorité constatant qu'ils sont emballés suivant les prescriptions.

II.

Les capsules pour armes à feu et projectiles, les pastilles fulminantes, les engins de mise de feu non détonants et *les douilles de cartouches munies de dispositifs d'inflammation,* doivent être emballés avec soin dans des caisses ou des tonneaux solides; sur chaque colis doit se trouver une étiquette portant, suivant son contenu, la désignation de *capsules, pastilles fulminantes*, etc. (Pour les engins de mise de feu détonants, voir n° XXXVI *a*.)

III.

(1). *Les allumettes chimiques* et *autres allumettes à friction* (telles que allumettes-bougies, allumettes d'amadou, etc.) doivent être emballées avec soin dans des récipients de forte tôle ou de bois très solide, de 1^mc^,2 au plus, de manière qu'il ne reste aucun vide dans les récipients; les ré-

Digitized by Google

cipients en bois porteront distinctement à l'extérieur la marque de leur contenu.

(2). La *masse inflammable des allumettes chimiques de phosphore jaune* et de *chlorate de potasse* ne doit pas contenir, à l'état sec, plus de 10 pour 100 de phosphore et de 40 pour 100 de chlorate de potasse. Les envois doivent être accompagnés d'une déclaration du fabricant certifiant que ces limites n'ont pas été dépassées.

IV.

Les *mèches de sûreté,* c'est-à-dire les mèches qui consistent en un boyau mince et serré dans lequel est contenue une quantité relativement faible de poudre à tirer, sont soumises aux prescriptions données sous le n° III (alinéa 1). [Cf. n° XXXVI, alinéa 3.]

VI.

(1). Le *phosphore ordinaire* (blanc ou jaune) doit être entouré d'eau dans des boîtes en fer-blanc soudées, contenant 30^{kg} au plus et solidement emballées dans de fortes caisses. En outre, il faut que les caisses soient munies de deux poignées solides, qu'elles ne pèsent pas plus de 100^{kg} et qu'elles portent à l'extérieur l'indication de *phosphore jaune* (*blanc*) *ordinaire* et celle de *haut.*

(2). Le *phosphore amorphe* (rouge) doit être emballé dans des boîtes en fer-blanc bien soudées et placées avec de la sciure de bois dans de fortes caisses. Ces caisses ne pèseront pas plus de 90^{kg} et elles porteront à l'extérieur l'indication *phosphore rouge.*

VIII.

La *celloïdine,* produit de l'évaporation imparfaite de l'alcool contenu dans le collodion, ayant l'apparence de savon et consistant essentiellement en coton à collodion, n'est pas admise au transport, à moins que les lames isolées de celloïdine ne soient emballées de façon à empêcher complètement toute dessiccation.

VIII^{a}.

(1) L'*éther sulfurique* ne peut être expédié que :

1° Dans des vases étanches de forte tôle de fer, bien rivés ou soudés et contenant au maximum 500^{kg},

Ou 2° dans des vases hermétiquement fermés en métal ou en verre, d'un poids brut de 60^{kg} au maximum et emballés conformément aux prescriptions suivantes :

a. Quand plusieurs vases sont réunis en un colis, ils doivent être em-

Digitized by Google

ballés solidement dans de fortes caisses en bois garnies de paille, foin, son, sciure de bois, terre fossile ou d'autres substances meubles;

b. Quand les vases sont emballés isolément, l'envoi est admis dans des paniers ou cuveaux solides munis de couvercles bien assujettis et de poignées, et garnis d'une quantité suffisante de matière d'emballage; le couvercle, consistant en paille, jonc, roseau ou matières analogues, doit être imprégné de lait d'argile ou de chaux, ou d'une autre substance équivalente, mélangé avec du verre soluble.

(2) Pour les vases en tôle ou en métal, le maximum de contenance ne doit pas dépasser 1^{kg} de liquide par $1^{lit},55$ de capacité du récipient; par exemple, un récipient en métal, de la capacité de $15^{lit},50$, ne pourra contenir plus de 10^{kg} d'éther sulfurique.

(3). En ce qui concerne l'emballage avec d'autres objets, voir le n° XXXV.

IX.

(1). Les *liquides qui contiennent de l'éther sulfurique en grande quantité* (les gouttes d'Hoffmann et le collodion) ne peuvent être expédiés que dans des récipients en métal ou en verre, hermétiquement clos et dont l'emballage remplira les conditions suivantes :

1° Quand plusieurs vases contenant de ces préparations sont réunis en un colis, ils doivent être emballés solidement dans de fortes caisses de bois garnies de paille, de foin, de son, de sciure de bois, de terre d'infusoires ou autres substances meubles.

2° Quand les vases sont emballés isolément, l'envoi est admis dans des paniers ou cuveaux solides munis de couvercles bien assujettis et de poignées, et garnis d'une quantité suffisante de matières d'emballage; le couvercle, consistant en paille, joncs, roseaux ou matières analogues, doit être imprégné de lait d'argile ou de chaux ou d'une autre substance équivalente, mélangé avec du verre soluble. Le poids brut ne doit pas dépasser 60^{kg}.

(2). En ce qui concerne l'emballage avec d'autres objets, voir le n° XXXV.

X.

(1). Le *sulfure de carbone* est transporté exclusivement dans des wagons découverts et sans bâches, et seulement dans les conditions suivantes :

Soit 1° en vases étanches de forte tôle bien rivée ne contenant pas plus de 500^{kg};

Ou 2° en vases de tôle de 75^{kg} brut au plus, renforcés, à la partie supérieure et à la partie inférieure, avec des cercles de fer. Ces vases seront, soit renfermés dans des paniers ou cuveaux, soit emballés dans des caisses

Digitized by Google

garnies de paille, foin, son, sciure de bois, terre d'infusoires ou autres substances meubles;

Ou 3° en vases de verre renfermés dans de fortes caisses garnies de paille, foin, son, sciure de bois, terres d'infusoires ou autres substances meubles.

Pour les vases en tôle, la contenance ne doit pas dépasser 1^{kg} de liquide par $0^{lit},825$ de capacité du récipient.

(2). Le sulfure de carbone, livré au transport par quantité de 2^{kg} au plus, peut être réuni en un colis avec d'autres objets admis au transport sans conditions, pourvu qu'il soit renfermé dans des récipients en tôle hermétiquement fermés, emballés avec les autres objets dans une caisse solide garnie de paille, de foin, de son, de sciure de bois ou de toute autre substance meuble. Les colis doivent être transportés exclusivement dans des wagons découverts, sans bâches, et la lettre de voiture doit indiquer qu'ils contiennent du sulfure de carbone.

XI.

(1). L'*esprit de bois* à l'état brut ou rectifié et l'*acétone*, à moins qu'ils ne soient dans des wagons spécialement construits à cet effet (wagons-citernes) ou en tonneaux, ne sont admis au transport que dans des vases de métal ou de verre. Ces vases doivent être emballés de la manière indiquée au n° IX.

(2). En ce qui concerne l'emballage avec d'autres objets, voir le n° XXXV.

XII.

La *chaux vive* n'est transportée que dans des wagons découverts.

XIII.

Le *chlorate de potasse* et les *autres chlorates* doivent être emballés soigneusement dans des caisses ou tonneaux hermétiquement clos, revêtus intérieurement de papier collé contre les parois.

XIV.

(1). L'*acide picrique* n'est expédié que sur l'attestation d'un chimiste connu de l'administration du chemin de fer, apposée sur la lettre de voiture, constatant que l'acide livré peut être transporté sans danger. (Cf. § 50 A 4*c*.)

(2). La *déinite* (mélange d'acide picrique avec 10 à 30 pour 100 de trinitrotoluol en poudre) n'est transportée que sur une attestation libellée de la même manière, constatant que le mélange est exempt de danger.

Digitized by Google

XV.

Les *acides minéraux liquides de toute nature* (particulièrement l'acide sulfurique, l'esprit de vitriol et l'acide muriatique) ainsi que le *chlorure de soufre,* à l'exception de l'*acide nitrique ordinaire* et de l'*eau régale* (voir n° LIV) et de l'*acide nitrique rouge fumant* (voir n° XVII), sont soumis aux prescriptions suivantes :

1 (1). Quand ces produits sont expédiés en touries, bouteilles ou cruches, les récipients doivent être hermétiquement fermés, bien emballés et renfermés dans des caisses spéciales ou dans des bannettes munies de poignées solides pour en faciliter le maniement;

(2). Quand ils sont expédiés dans des récipients de métal, de bois ou de caoutchouc, ces récipients doivent être hermétiquement joints et pourvus de bonnes fermetures.

2. Ces produits doivent, sous la réserve des dispositions du n° XXXV, toujours être chargés séparément et ne peuvent notamment pas être placés dans le même wagon avec d'autres produits chimiques.

3. Les prescriptions **1** et **2** s'appliquent aussi aux vases dans lesquels lesdits objets ont été transportés. Ces vases doivent toujours être déclarés comme tels.

4. Lorsque les colis appartenant à un envoi compris dans une même lettre de voiture ne pèsent pas plus de 75^{kg} chacun, ces produits payent le port d'après le poids réel. Si, dans un envoi compris dans la même lettre de voiture, il se trouve une ou plusieurs pièces de 75^{kg} chacune, l'administration des chemins de fer peut exiger, alors même que la quantité totale n'atteint pas le poids de 2000^{kg}, le payement du port pour 2000^{kg}. Cependant ce droit n'existe pas, lorsque, après avoir accepté un colis comme pesant 75^{kg} au plus, on lui trouve, après l'acceptation, un poids supérieur.

Le chargement et le déchargement des envois, dans lesquels se trouve ne fût-ce qu'un seul colis de plus de 75^{kg}, doivent se faire par l'expéditeur et par le destinataire respectivement. En ce qui concerne les colis en question, l'administration des chemins de fer n'est pas obligée de donner suite aux réquisitions admises pour les autres marchandises.

5. Lorsque le déchargement et l'enlèvement de ces envois ne sont pas effectués par les destinataires dans les trois jours après l'arrivée à la gare de destination ou après notification de l'avis d'arrivée, l'administration des chemins de fer est autorisée à faire placer en dépôt les envois, en se conformant aux dispositions du § 70, alinéa **2**, de l'ordonnance, ou à les transmettre à un commissionnaire de transport. Lorsque cela est impossible, elle peut vendre les envois sans autres formalités.

Digitized by Google

XVI.

(1). La *lessive caustique* (lessive de soude caustique, lessive de soude, lessive de potasse caustique, lessive de potasse), le *résidu d'huile* (de raffinerie d'huile) et le *brome* sont soumis aux prescriptions spécifiées sous le n° XV, **1** et **3** (à l'exception de la disposition du **2** citée au **3**).

(2). En ce qui concerne l'emballage avec d'autres objets, voir n° XXXV.

XVII.

Sont applicables au transport d'*acide nitrique rouge fumant* les prescriptions données sous le n° XV, en ce sens que les touries et bouteilles doivent être entourées dans les récipients d'un volume au moins égal à leur contenu de terre d'infusoires séchée ou d'autres substances terreuses sèches.

XVIII.

(1) L'*acide sulfurique anhydre* (anhydrite, huile fixe) ne peut être transporté que :

1° Dans des boîtes en tôle, fortes, étamées et bien soudées,

Ou, 2° dans de fortes bouteilles de fer ou de cuivre dont l'ouverture est hermétiquement bouchée, mastiquée et revêtue d'une enveloppe d'argile.

(2). Les boîtes et bouteilles doivent être entourées d'une substance inorganique, fine, telle que laine minérale, terre d'infusoires, cendre ou autres, et solidement emballées dans de fortes caisses de bois.

(3). Pour le reste, les dispositions du n° XV, **2** à **5**, sont applicables.

XXVIII.

(1). Le *noir de fumée* et *autres espèces de suie* ne sont admis à l'expédition que dans des emballages offrant toute garantie contre le tamisage (sacs, tonneaux, caisses, etc.).

(2). Si la suie est fraîchement calcinée, on emploiera pour l'emballage des vases ou de petits tonneaux placés dans de solides paniers et garnis intérieurement de papier, de toile ou d'une autre matière analogue collée solidement sur les parois.

(3). La lettre de voiture doit mentionner si la suie est fraîchement calcinée ou non. A défaut de cette indication dans la lettre de voiture, la suie sera considérée comme fraîchement calcinée.

XXIX.

(1). Le *charbon de bois en poudre* ou *en grains* n'est admis au transport que s'il est emballé.

Digitized by Google

(2) S'il est fraîchement éteint, on emploiera pour l'emballage, soit :

a. Des boîtes de forte tôle hermétiquement fermées, ou

b. Des tonneaux (dits *tonneaux américains*) hermétiquement fermés, construits de plusieurs épaisseurs de carton verni, très fort et très ferme, tonneaux dont les deux extrémités sont munies de cercles de fer, dont les fonds en bois fort, coupés au moyen du tour, sont vissés aux cercles de fer au moyen de vis à bois en fer, et dont les joints sont soigneusement collés avec des bandes de papier ou de toile.

(3). Quand du charbon de bois en poudre ou en grains est remis au chemin de fer pour être transporté, il doit être indiqué sur la lettre de voiture si le charbon est fraîchement éteint ou non. A défaut de cette indication dans la lettre de voiture, le charbon sera considéré comme fraîchement éteint et ne sera accepté pour le transport que dans l'emballage ci-dessus prescrit.

XXXI.

(1). La *laine,* les *poils,* la *laine artificielle,* le *coton,* la *soie,* le *lin,* le *chanvre,* le *jute,* à l'état brut, sous forme de déchets provenant de la filature ou du tissage, à l'état de chiffons ou d'étoupes; les *cordages,* les *courroies de coton et de chanvre,* les *cordelettes* et *ficelles diverses* (pour la laine ayant servi au nettoyage, voir alinéa 3) ne doivent être transportés, s'ils sont imprégnés de graisse ou de vernis, que dans des wagons couverts, ou dans des wagons découverts munis de bâches.

(2). La lettre de voiture doit indiquer si lesdits objets ne sont pas imprégnés de graisse ou de vernis; en cas de non-indication, ils seront considérés comme imprégnés de graisse ou de vernis.

(3). La *laine ayant servi au nettoyage* n'est admise au transport que dans des fûts, caisses et autres récipients solides et hermétiquement fermés.

XXXIII.

Le *soufre* n'est transporté que par wagons couverts ou par wagons découverts bâchés.

XXXIV.

Les *objets auxquels le feu peut facilement être communiqué par des étincelles de la locomotive,* tels que foin, paille (y compris la paille de maïs, de riz, de lin), jonc (à l'exclusion du jonc d'Espagne), écorce d'arbres, tourbe (à l'exception de la tourbe mécanique ou comprimée), charbon de bois entier (non moulu) (voir n° XXIX), matières à filer végétales et leurs déchets, les rognures de papier, la sciure de bois, les pâtes de bois, les copeaux de bois, etc., ainsi que les marchandises fabriquées au moyen d'un mélange de résidus de pétrole, de résine et d'autres objets

Digitized by Google

semblables avec des corps poreux inflammables; de même le *plâtre*, les *cendres lessivées de chaux* et le *trass*, dans le cas où ils ne seraient pas emballés, ne sont reçus que s'ils sont complètement couverts et à la condition que l'expéditeur et le destinataire opèrent eux-mêmes le chargement et le déchargement. A la demande de l'administration, l'expéditeur doit fournir lui-même les bâches nécessaires pour couvrir ces objets.

XXXV.

Quand les produits chimiques spécifiés sous les n^os^ VIII^a^, IX, XI, XV, XVI et LIV, sont livrés au transport en quantité ne dépassant pas 10^kg^ par espèce, il est permis de réunir en un colis, tant entre eux qu'avec d'autres objets admis au transport sans conditions, les corps spécifiés sous les n^os^ VIII^a^, IX, XI, XVI (à l'exception du brome) et LIV, d'une part, et ceux qui sont spécifiés sous le n° XV (y compris le brome jusqu'au poids de 100^gr^), d'autre part. Ces corps doivent être renfermés dans des récipients de verre ou de fer-blanc étanches hermétiquement clos, emballés solidement par couches au moyen de paille, foin, son, sciure de bois, terre d'infusoires ou autres substances meubles, et être désignés nominativement dans la lettre de voiture.

XXXVI.

1. Les *cartouches chargées pour armes à feu portatives* (pour les cartouches métalliques, etc., voir n° XXXVII);

2. Les *pièces de feu d'artifice,* lorsqu'elles ne contiennent pas de substances généralement exclues du transport, conformément au § 50 A 4, lettres *a* à *c* inclusivement (pour les articles de feu d'artifice en pulvérin, voir n° XXXVIII, et pour les préparations de feux de Bengale, voir n° XLII);

3. Les *cordeaux de mise de feu, à l'exception des mèches de sûreté* (pour ces dernières, voir n° IV);

4. La *nitrocellulose,* en particulier le *fulmi-coton* (ou *coton-poudre*), le *coton-collodion* et le *papier-poudre*, lorsque ces matières sont humectées d'au moins 20 pour 100 d'eau, les *cartouches de fulmi-coton comprimé avec enduit de paraffine* (pour le fulmi-coton comprimé contenant 15 pour 100 et plus d'eau, et pour le fulmi-coton sous forme de flocons, ainsi que pour le coton-collodion, contenant tous deux 35 pour 100 d'eau, voir XXXIX et XL);

5. La *poudre de tir* et la *poudre de mine* (poudre noire) et les mélanges analogues, comme la *lithotrite* et le mélange dit *salpêtre combustible;* la *poudre de bois* (mélange de bois nitré, qui acquiert par la nitrification une augmentation de poids de 30 pour 100 au plus, et d'azo-

Digitized by Google

tates avec ou sans addition de sulfates, avec exclusion des chlorates); la *poudre de Rottweil pour fusils de petit calibre* (poudre de nitrocellulose dissoute); la *poudre cubique* (poudre préparée avec de la gélatine détonante comprimée à chaud); ainsi que les *poudres donnant peu de fumée et qui se préparent avec du fulmi-coton gélatinisé, sans addition d'autres substances explosives;* la *plastoménite* (poudre préparée avec de la nitrocellulose incorporée avec des combinaisons nitrées solides); toutes ces substances également sous forme de cartouches;

6. Les *cartouches de dynamite* et de *substances analogues à la dynamite,* comme la *carbonite,* les *cartouches de gélatine détonante* (solution gélatineuse de coton-collodion dans la nitroglycérine), les *cartouches de méganite* et de *dynamite-gomme* (mélange de nitroglycérine gélatinisée par du coton-collodion et de composés analogues à la poudre noire, c'est-à-dire mélanges de salpêtre et de corps riches en carbone, avec ou sans soufre), les *cartouches de kinétite* (nitrobenzol gélatinisé avec de la nitrocellulose et dans lequel, à l'exclusion d'autres substances, on a incorporé un mélange d'azotate et de chlorate de potasse), lorsque ces cartouches proviennent d'une fabrique allemande ayant la concession de fabriquer l'article en question, ou d'une fabrique étrangère autorisée à faire transporter cet article par les chemins de fer allemands, sont soumis aux prescriptions suivantes :

A.

Emballage.

(Alinéa 1.)

(1). Les *cartouches pour armes portatives* (pour les cartouches métalliques, etc., voir n° XXXVII) doivent d'abord être emballées en quantités formant paquet, dans des boîtes en carton fort, de telle manière qu'il ne puisse y avoir de déplacement dans les boîtes. Les boîtes contenant les cartouches doivent être solidement emballées les unes à côté des autres et par-dessus les autres, en rangs serrés, dans des caisses en bois ou dans des barils bien confectionnés, d'une solidité correspondant au poids du contenu et à joints hermétiques; ces barils et caisses ne doivent pas être garnis de cercles ou de bandes de fer. Au lieu de caisses et de barils en bois on peut aussi employer des barils en plusieurs couches de carton très fort, très résistant et verni (dits *barils américains*). La fermeture des caisses ne doit pas s'effectuer à l'aide de clous en fer.

(2). Le poids des cartouches contenues dans un récipient ne doit pas dépasser 60^{kg}, et le poids brut du récipient 90^{kg}.

(3). Les récipients doivent porter la mention : *Cartouches pour armes à feu portatives,* nettement imprimée ou en relief.

Digitized by Google

(Alinéa 2.)

(1). Les *pièces de feu d'artifice* doivent être solidement emballées dans des caisses ou dans des barils en bois, résistants et d'une solidité correspondant au poids du contenu et à joints hermétiques; ces caisses et barils ne doivent pas être munis de bandes ou cercles en fer. Au lieu des caisses et des tonneaux en bois, on peut aussi employer des barils dits *américains*. La fermeture des caisses ne doit pas s'effectuer à l'aide de clous de fer.

(2). Le poids brut de chaque récipient ne doit pas dépasser 90^{kg}.

(3). Les récipients doivent être munis de l'inscription nettement imprimée ou en relief : *Pièces de feu d'artifice*.

(Alinéa 3.)

(1). Les *cordeaux de mise de feu* (*à l'exception des mèches de sûreté*) doivent être solidement emballés dans des caisses ou dans des barils en bois, résistants et d'une solidité correspondant au poids du contenu, à joints hermétiques, non munis de bandes ou de cercles de fer. Au lieu des caisses et tonneaux en bois, on peut employer aussi des barils dits *américains*. La fermeture des caisses ne doit pas s'effectuer à l'aide de clous de fer.

(2). Le poids des cordeaux de mise de fen contenus dans un récipient ne doit pas dépasser 60^{kg}. Le poids brut de chaque récipient ne doit pas dépasser 90^{kg}.

(3). Les récipients doivent être munis de l'inscription nettement imprimée ou en relief : *Cordeaux de mise de feu*.

(Alinéa 4.)

(1). La *nitrocellulose*, en particulier, le *fulmi-coton* ou *coton-poudre*, le *coton-collodion* et le *papier-poudre*, en tant que ces produits ne sont pas exclus du transport par des dispositions spéciales, doivent être solidement emballés dans des caisses ou dans des barils de bois, résistants et d'une solidité correspondant au poids du contenu, à joints hermétiques et non munis de bandes ou de cercles en fer. Au lieu de caisses ou barils en bois, on peut aussi employer des barils dits *américains*.

(2). Les *cartouches de fulmi-coton comprimé*, avec enduit de paraffine, doivent être réunies en paquets par une forte enveloppe de papier.

Ces cartouchès, ainsi que le *fulmi-coton* et les *autres nitrocelluloses*, ne doivent pas être munies d'amorces, ni emballées avec ces dernières dans les mêmes récipients ou dans la même voiture. Les matières embal-

Digitized by Google

lées doivent être fortement serrées dans des récipients imperméables, de sorte que le contenu ne puisse pas subir de frottement. La fermeture des caïsses ne doit pas s'effectuer à l'aide de clous de fer.

(3). Le poids brut du récipient rempli de *fulmi-coton* ou d'une *autre nitrocellulose* ne doit pas dépasser 90^{kg}; le poids brut du récipient contenant des *cartouches de fulmi-coton* ne doit pas dépasser 35^{kg}.

(4). Suivant leur contenu, les récipients doivent être munis de l'inscription, nettement imprimée ou en relief : *Fulmi-coton, Cartouches de fulmi-coton, etc.*

(Alinéa 5.)

(1). La *poudre de tir* et la *poudre de mine* (*poudre noire*), et les *autres poudres ci-dessus désignées sous le chiffre* 5, de même que les *cartouches* de ces poudres, doivent être solidement emballées dans des caisses ou dans des barils en bois, résistants et d'une solidité en rapport avec le poids du contenu, à joints hermétiques, et non munis de bandes ou de cercles de fer. Au lieu de caisses ou de barils de bois, on peut aussi employer des barils dits *américains,* ainsi que des récipients métalliques (à l'exception de ceux en fer). Les récipients ne doivent avoir ni clous, ni vis, ni autres pièces de consolidation en fer. Avant l'emballage dans les caisses ou dans les barils, la *poudre en grains* doit être placée dans des sacs épais en tissu solide, et le *pulvérin* dans des sacs en cuir. Pour l'emballage de la *poudre prismatique* en colis séparés, on doit employer des caisses en bois solide, d'au moins 25^{mm} d'épaisseur pour les caisses pouvant contenir 50^{kg} de poudre. Les parois des caisses doivent être zinguées et le couvercle et le fond doivent être fixés à l'aide de longues chevilles de bois collées ou de vis en laiton. A l'intérieur de chaque caisse doivent se trouver, pour mettre en position stable les prismes de la poudre, deux plaques de feutre ou d'une matière élastique analogue, l'une contre l'une des parois de la caisse, l'autre sous le couvercle.

(2). Le poids brut du récipient ne doit pas dépasser 90^{kg}.

(3). Les récipients doivent être munis de l'inscription nettement imprimée ou en relief : *Poudre.*

(Alinéa 6.)

(1). Les *cartouches de dynamite* ou *de substances analogues à la dynamite,* pour l'enveloppe desquelles on ne doit pas employer de papier graissé ou huilé, mais bien du papier paraffiné, doivent être réunies en paquets au moyen d'une solide enveloppe de papier. Les paquets doivent être solidement emballés dans des caisses ou dans des barils en bois, résistants et d'une solidité en rapport avec le poids du contenu, à joints hermétiques, et non munis de bandes ou de cercles de fer. Au lieu de caisses ou de tonneaux en bois, on peut aussi employer des barils dits

Digitized by Google

américains. La fermeture des caisses ne doit pas s'effectuer avec des clous de fer. Les cartouches de cette nature ne sont admises au transport par chemin de fer que dans les récipients d'origine et sous l'emballage d'origine.

(2). Le poids brut des récipients ne doit pas dépasser 35^{kg}.

(3). Suivant leur contenu, les récipients doivent être munis de l'inscription nettement imprimée ou en relief : *Cartouches de dynamite, etc.*, et de l'indication du lieu d'origine (marque de fabrique).

B.

Expédition.

(1). L'expédition et le transport en grande vitesse sont interdits.

(2). L'acceptation d'envois à destination de gares et de lignes de chemin de fer sur lesquelles le transport d'articles explosibles est prohibé ne peut avoir lieu.

(3). Lorsque le transport n'est pas effectué par des trains spéciaux, l'acceptation pour le transport peut être restreinte d'avance à des jours et à des trains déterminés. La fixation des jours et la désignation des trains sont soumises à l'approbation, en cas de besoin à la décision de l'inspection régionale.

(4). Les lettres de voiture ne doivent pas comprendre d'autres objets. La désignation de l'objet doit être soulignée, dans les lettres de voiture, à l'encre rouge. Outre le nombre, le genre, les marques et les numéros des récipients, les lettres de voiture doivent aussi indiquer le poids brut de chaque récipient ; pour la nitrocellulose les lettres de voiture doivent être libellées à part.

(5). Ces lettres de voiture ne doivent pas porter la mention *en gare*.

(6). L'expéditeur doit certifier sur la lettre de voiture, avec la légalisation officielle de sa signature, que la nature et l'emballage des articles à transporter répondent aux prescriptions en vigueur. Chaque envoi qui contient des cartouches de dynamite et des autres substances énumérées sous le chiffre 6 doit être accompagné en outre d'un certificat d'origine, délivré par le fabricant et officiellement légalisé. On doit aussi joindre à chaque envoi de cette nature un certificat d'un chimiste accrédité, constatant la nature et l'emballage de l'explosif.

(7). Les frais de transport doivent être acquittés à l'expédition. Les envois contre remboursement sont exclus du transport. La déclaration attachée à la livraison n'est pas non plus admise.

(8). Chaque envoi doit (sans préjudice des autres conventions prises pour des cas particuliers avec l'administration intéressée des chemins de

Digitized by Google

fer) être déclaré au lieu d'expédition, avec présentation d'une copie exacte et complète de la lettre de voiture : 1° au moins un jour avant l'expédition, s'il doit rester en circulation sur la ligne d'expédition; 2° au moins deux jours avant l'expédition si, tout en restant sur la ligne d'expédition, il est à destination de gares desservies par des lignes d'embranchement; et 3° au moins quatre jours avant l'expédition, s'il doit circuler sur plusieurs lignes de chemin de fer dépendant d'administrations différentes. Les envois ne doivent être livrés à l'expédition qu'à l'heure fixée par écrit par le service d'expédition.

(9). Les envois à transporter par trains spéciaux doivent être déclarés à l'administration du chemin de fer qui se charge de l'expédition, avec indication de l'itinéraire, au moins huit jours avant l'expédition.

C.

Moyens de transport.

(1). On ne doit employer pour le transport que des wagons de marchandises couverts, à tampons et à appareils de traction élastiques, à solide et bonne toiture, hermétiquement joints et munis de portières fermant bien, en règle générale sans freins.

(2). Les wagons de marchandises à l'intérieur desquels se trouvent des clous, des vis, des écrous, etc., en fer, faisant saillie, ne doivent pas être employés pour le transport.

(3). Les portières des voitures et les fenêtres qui peuvent s'y trouver doivent être fermées et calfatées. Le papier ne doit pas être employé à cet usage.

(4). Pour les transports de cette nature, on ne doit pas employer de voiture dont les essieux viennent d'être changés ou qui sont désignées pour être inspectées à cet effet dans les ateliers.

(5). Le déplacement des marchandises explosives d'une voiture dans une autre ne doit se faire en route qu'en cas de nécessité absolue. Les administrations des chemins de fer doivent, par conséquent, conclure des conventions pour que ces envois soient transportés dans la même voiture depuis la gare d'expédition jusqu'à la gare de destination.

(6). Les voitures chargées de substances explosives doivent se reconnaître extérieurement par des drapeaux noirs rectangulaires, portant un *P* blanc, fixés sur le haut des parois antérieure ou postérieure, ou latérales.

D.

Chargement.

(1). Les récipients (caisses, ou barils) doivent être solidement emballés

Digitized by Google

dans les wagons, de manière à être garantis contre les frottements, les secousses, les chocs et la chute des rangées supérieures. Les barils ne doivent surtout pas être placés verticalement; ils doivent être couchés, parallèlement aux parois longitudinales, et préservés contre tout mouvement avec des cales de bois placées sous des couvertures en crin.

(2). Les voitures ne doivent être chargées qu'aux $\frac{2}{3}$ du poids qu'elles peuvent porter. On ne doit pas non plus superposer plus de trois couches de récipients les unes sur les autres.

(3). On ne doit charger en commun avec d'autres marchandises que des quantités de 1000^{kg} au plus, et cela seulement lorsque ces marchandises ne sont pas facilement inflammables et ne doivent pas être déchargées avant les substances explosives.

(4). Il est interdit de placer les articles énumérés sous les chiffres **1**, **2**, **3** et **5**, ainsi que les articles de mise de feu (n^{os} II et XXXVI*a*) dans les voitures chargées de *fulmi-coton* ou *d'autres sortes de nitrocellulose*, ainsi que de *cartouches de dynamite* et des *autres substances énumérées sous le chiffre* **6**.

(5). Le chargement ne doit jamais se faire sur les plates-formes et dans les dépôts des marchandises, mais sur des voies latérales, et le moins de temps possible avant le départ du train par lequel doit s'effectuer le transport. Le chargement doit s'effectuer par les soins de l'expéditeur sous surveillance compétente. Les ustensiles spéciaux de chargement et les signaux d'avertissement (couvertures, drapeaux, etc.) doivent être fournis par l'expéditeur; ils sont remis au destinataire avec la marchandise.

(6). L'accès du public à proximité des endroits où s'effectue le chargement doit être interdit. Lorsque, exceptionnellement, le chargement se fait pendant la nuit, ces endroits doivent être éclairés par des lanternes fixes et surélevées.

(7). Pendant le chargement, en particulier pour les *cartouches de dynamite* et des *autres substances énumérées sous le chiffre* **6**, on doit soigneusement éviter les secousses. En conséquence, les récipients (caisses, barils) ne doivent jamais être roulés ou projetés.

E.

Mesures de précaution dans les gares et pendant le trajet.

(1). Ni pendant le chargement, ni pendant le transport, on ne doit tenir, à l'intérieur ou à proximité des voitures chargées de substances explosives, de feu ou de lumière non isolée, ni fumer.

(2). Lorsqu'à l'intérieur d'une gare, une locomotive passe à proximité du lieu de chargement ou de voitures déjà chargées de substances explo-

Digitized by Google

sives, les portes du foyer et du cendrier doivent être fermées; l'échappement ne doit pas être diminué. Pendant le passage de la locomotive, les portes des wagons doivent être fermées et la partie de l'envoi qui se trouve en dehors des wagons doit être protégée contre le feu par une couverture; le chargement doit être suspendu. Les prescriptions de cet alinéa doivent également être observées autant que possible à la rencontre des trains sur la voie libre.

(3). Les wagons chargés ne doivent être mis en mouvement par la locomotive, dans la gare de chargement, pendant le trajet et dans la gare de destination, que lorsqu'ils sont séparés de cette dernière par au moins quatre voitures qui ne soient pas chargées d'objets prenant facilement feu. Le charbon de terre, la houille, le coke et le bois ne sont pas considérés comme substances prenant facilement feu, dans le sens de cette disposition et de la disposition F, alinéa (3).

(4). Les voitures contenant des substances explosives ne doivent jamais être poussées avec violence, et pour l'accouplement on doit les ranger avec la plus grande précaution.

(5). Pendant les arrêts prolongés dans les stations du parcours, les voitures chargées de substances explosives doivent être garées sur des voies de garage. Lorsque la durée prévue de l'arrêt est supérieure à une heure, on doit avertir l'autorité de police locale, afin de la mettre en état de prendre les mesures de précaution qui peuvent lui sembler nécessaires dans l'intérêt public.

F.

Désignation des trains et disposition dans les trains des voitures chargées de substances explosives.

(1). Le transport ne doit jamais se faire par trains de voyageurs; par trains mixtes il ne doit se faire que sur les lignes qui ne sont pas desservies par des trains de marchandises.

(2). On ne doit pas faire entrer dans les trains de marchandises et dans les trains mixtes plus de huit essieux chargés des articles énumérés sous le chiffre 6. Les quantités plus considérables ne doivent se transporter que par trains spéciaux.

(3). Les voitures chargées de substances explosives doivent être rangées dans les trains le plus loin possible de la locomotive, toutefois de telle manière qu'elles soient encore suivies de trois voitures non chargées de substances prenant facilement feu. Au moins quatre de ces voitures doivent précéder les voitures chargées de substances explosives. Ces dernières voitures doivent être solidement accouplées entre elles et avec celles qui les précèdent et celles qui les suivent; et à chaque station inter-

Digitized by Google

médiaire, lorsque la durée de l'arrêt le permet, il doit être procédé à une minutieuse visite sur le bon état du système de jonction. Il n'est pas exigible de placer des voitures de protection devant et derrière les voitures qui contiennent un chargement de poudre nue ne dépassant pas le poids brut de 15^{kg} ou d'autres explosifs ne dépassant pas le poids brut de 35^{kg}.

(4). Les freins ne doivent être adaptés ni aux voitures chargées de substances explosives, ni, lorsque le transport se fait par trains ordinaires, à la voiture qui les précède ou qui les suit immédiatement. En revanche, la voiture qui se trouve au bout du train doit être munie d'un frein et il doit en être fait usage.

G.

Escorte des envois de substances explosives.

Lorsque l'expédition dépasse une voiture, l'expéditeur doit fournir le personnel d'escorte auquel incombe la surveillance spéciale du chargement. Ce personnel ne doit prendre place ni dans ni sur les voitures chargées de substances explosives.

H.

Avertissement des gares intermédiaires et des administrations intéressées.

(1). Toutes les gares auxquelles on doit toucher pendant le trajet, ainsi que le personnel des trains que l'on a à croiser ou à dépasser, doivent être avertis en temps utile, avant le départ et l'arrivée des convois, par l'administration des chemins de fer, afin d'éviter tout arrêt inutile, de diminuer autant que possible le danger inhérent à la nature même du service des chemins de fer, et d'exclure toute autre cause de danger.

(2). Lorsqu'un convoi doit passer sur une autre ligne, l'administration de cette dernière doit être mise au courant le plus tôt possible de l'approche du convoi.

J.

Arrivée à la gare de destination et livraison des envois.

(1). Les envois doivent être annoncés d'avance au destinataire par la gare de destination, laquelle doit être avertie de l'arrivée du chargement, avec indication du train, par l'une des gares les plus rapprochées; mais le destinataire doit, en outre, être averti immédiatement après l'arrivée à destination. La prise de livraison doit se faire dans le délai de 3 heures diurnes, et le déchargement dans le délai de 9 autres heures diurnes après l'arrivée et la notification.

(2). Les convois escortés (voir G), dont le destinataire n'aurait pas pris

Digitized by Google

livraison dans les 3 heures prescrites, doivent être pris en charge par le personnel d'escorte, sans autre délai.

(3). Si l'envoi n'est pas enlevé en 12 heures diurnes après l'arrivée, il doit être mis à la disposition de l'autorité de police locale qui doit l'enlever de la gare, sans délai. L'autorité de police locale a le droit d'ordonner la destruction.

(4). Jusqu'à la prise de livraison, l'envoi doit être spécialement surveillé.

(5). Le déchargement et le dépôt éventuel ne doivent pas s'effectuer sur les plates-formes ou dans les dépôts des marchandises, mais sur des voies de garage le plus éloignées possible, ou dans des hangars distants des dépôts de marchandises et ne servant pas en même temps à d'autres usages, en se conformant aux prescriptions énoncées sous les rubriques D et E.

XXXVI*a*.

Les *engins explosifs de mise de feu,* c'est-à-dire les *capsules* ou *amorces détonantes* et les *mèches de mineurs,* qui fonctionnent par l'électricité ou par frottement, sont soumis aux prescriptions suivantes :

a. Capsules ou amorces détonantes.

1. (1). Les capsules ou amorces détonantes doivent être emballées les unes à côté des autres, les ouvertures en haut, dans de solides récipients en fer-blanc, dont chacun ne doit pas contenir plus de 100 pièces, de telle manière qu'il ne puisse y avoir mouvement ou déplacement des capsules ou amorces, même lorsqu'il y a secousse.

(2). L'espace vide dans les capsules et entre elles doit être complètement comblé avec de la sciure de bois sèche ou une matière analogue ne contenant pas de sable.

(3). Le fond et la face interne du couvercle des récipients en fer-blanc doivent être revêtus d'une plaque de feutre ou de drap, les parois internes des récipients doivent être recouvertes de carton, de manière qu'il ne puisse y avoir de contact direct des capsules détonantes avec le fer-blanc.

2. (1). Chacun des récipients en fer-blanc ainsi remplis doit porter, collée à l'extérieur, une solide bande de papier; le couvercle doit ainsi se trouver serré contre le contenu, de façon qu'en secouant on ne puisse percevoir le bruit de capsules libres. Ces récipients doivent être réunis par cinq ou en paquet dans une enveloppe de fort papier d'emballage ou dans un carton.

(2). Les paquets doivent ensuite être emballés dans une caisse en bois solidement confectionnée à parois épaisses d'au moins 22^{mm}, ou dans une

Digitized by Google

solide boîte de fer-blanc, de manière à éviter autant que possible les espaces vides entre les boîtes et entre celles-ci et les parois de la caisse. Pour faciliter le déballage de la caisse, au moins un des paquets de chaque couche doit être entouré d'une solide bande, de telle manière que ce paquet puisse se retirer facilement par cette bande.

(3). Les espaces vides dans la caisse, qui pourraient permettre le ballottement des paquets, doivent être bouchés de coupures de papier, de paille, de foin, d'étoupe, de laine, de bois ou de copeaux, toutes ces matières étant complètement sèches; puis le couvercle, lorsqu'il est en fer-blanc, est soudé, ou, lorsqu'il est en bois, est fixé à l'aide de vis de cuivre ou de vis à bois zinguées, pour lesquelles les trous ont été préparés d'avance, avant le remplissage de la caisse.

3. (1). Cette caisse, dont le couvercle doit repousser vers le bas le contenu, de telle manière qu'il ne puisse y avoir ballottement de ce dernier, doit être placée, le couvercle en haut, dans une chape en bois, solidement confectionnée, fermant à l'aide de vis de cuivre ou de vis à bois zinguées et dont les parois ont au moins 25^{mm} d'épaisseur.

(2). L'espace séparant la caisse de la chape doit être d'au moins 30^{mm}; il est comblé de sciure de bois, de paille, d'étoupe, de laine ou de copeaux de bois.

4. Après fixation du deuxième couvercle qui doit serrer la caisse intérieure de manière à la maintenir immobile, le couvercle extérieur est revêtu d'un bulletin collé qui doit porter bien visiblement les mots : *Capsules détonantes. — Ne pas projeter.*

5. Chaque caisse ne doit pas contenir plus de 20^{kg} d'engins explosifs et doit être munie de deux solides poignées.

6. La lettre de voiture de chaque envoi doit porter une attestation de l'expéditeur et d'un chimiste accrédité, constatant que les prescriptions ci-dessus énoncées, sous les chiffres 1 à 5, ont été observées.

b. Mèches électriques.

1. (1). Les *mèches électriques à fil court ou à tête fixe* doivent être emballées verticalement dans de solides récipients en fer-blanc dont chacun ne doit pas contenir plus de 100 pièces. Les récipients doivent être remplis de sciure de bois ou d'une matière analogue.

(2). Au lieu de récipients en fer-blanc, on peut aussi employer des boîtes en carton fort et dur. Les récipients remplis doivent être emballés dans une solide caisse en bois ou en fer-blanc et cette dernière doit à son tour être placée dans une chape. L'épaisseur des parois de la caisse intérieure ne doit pas être inférieure à 22^{mm}, et celle des parois de la chape à 25^{mm}.

Digitized by Google

2. Les *mèches électriques sur fils de gutta-percha ou sur tiges de bois*, liées par séries de 10 pièces au plus, doivent être réunies en paquets dont chacun ne doit pas contenir plus de 100 pièces. Les allumeurs doivent être placés alternativement à l'une et à l'autre des extrémités des paquets. Ces paquets, liés ensemble au nombre de 5 au plus, enveloppés dans du papier solide et ficelés, doivent être emballés dans une forte caisse en bois ou en fer-blanc, garnie de foin, de paille ou d'une matière analogue. Cette caisse doit être emballée dans une chape en bois, dont l'épaisseur des parois ne doit pas être inférieure à 25^{mm}.

3. Pour le surplus, il y a lieu d'appliquer les prescriptions ci-dessus énoncées sous la lettre *a*, alinéas 3 à 6.

c. MÈCHES A FRICTION.

Ces mèches doivent être emballées de la manière suivante :

1. L'extrémité du fil à friction de chaque mèche doit être munie d'un chapeau en papier, collé de telle manière que ce dernier dépasse l'anneau du fil à friction.

2. 50 mèches à friction au plus doivent être réunies en un faisceau. A l'extrémité qui contient les têtes des mèches, les faisceaux doivent être enveloppés de laine de bois (tontisse ligneuse) et de papier par-dessus, tandis que les extrémités recourbées des fils doivent être logées dans une première capsule de papier, ouverte et vide, et ensuite dans une deuxième capsule de papier remplie de laine de bois. On doit particulièrement avoir soin que dans aucun cas la laine de bois ne puisse venir en contact direct avec les fils à friction, afin d'éviter l'accrochement ou l'arrachement du fil à friction alors que l'on enlève les mêches ou que l'on ôte la capsule de papier.

3. Plusieurs faisceaux ainsi formés doivent être placés dans une simple caisse dont le poids brut ne doit pas dépasser 20^{kg}.

4. Les espaces vides dans les caisses doivent être soigneusement et complètement comblés de coupures de papier ou de laine de bois.

5. La caisse elle-même, dont la longueur est proportionnelle à celle des mèches, doit être en planches d'au moins 22^{mm} d'épaisseur, sans fentes ni nœuds et jointes par zingage pour acquérir la solidité nécessaire.

6. La marque de fabrique doit être collée sur le couvercle et sur les parois de la caisse.

XXXVI *b*.

Les *cartouches de sécurite* (mélange de nitrate d'ammoniaque, de salpêtre et de binitrobenzol), de *roburite* (mélange de nitrate d'ammoniaque, de chloro-binitrobenzol et de chloro-binitronaphtaline), de *ruborite* (mélange de nitrate d'ammoniaque et de binitrobenzol), de *poudre à la cire*

Digitized by Google

(mélange de chlorate de potasse, de cire de carnauba et de lycopode), ainsi que les *cartouches d'explosif Favier* (mélange de nitrate d'ammoniaque et de mono- ou binitronaphtaline), sont transportées dans les conditions suivantes :

1. Les cartouches doivent être emballées dans des boîtes en fer-blanc hermétiquement fermées et ces dernières dans de solides caisses en bois. Chaque caisse peut contenir au plus 50^{kg} de cartouches.

2. Les caisses doivent être munies de deux solides poignées et d'une inscription désignant nettement le contenu.

3. (1). Chaque envoi doit être accompagné d'un certificat délivré par le fabricant et par un chimiste accrédité, constatant la nature de la substance explosive et l'exécution des prescriptions énoncées sous les chiffres 1 et 2.

(2). Un certificat analogue doit être apposé sur la lettre de voiture par l'expéditeur, avec légalisation de sa signature.

XXXVI *c*.

La *dahménite* (mélange de nitrate d'ammoniaque, de salpêtre et de naphtaline) et la *westfalite* (mélange de salpêtre, résine, naphtaline et huiles brutes de goudrons, avec ou sans addition de laques ou de vernis) sont soumises aux prescriptions suivantes :

1. Ces mélanges doivent être emballés dans des boîtes en fer-blanc hermétiquement closes et celles-ci dans de fortes caisses en bois. Le poids du contenu de chaque caisse ne doit pas dépasser 50^{kg}.

2. Les caisses doivent être munies de deux fortes poignées et d'une étiquette indiquant clairement le contenu.

3. (1). A chaque envoi doit être joint un certificat du fabricant et d'un chimiste accrédité, faisant connaître la nature du mélange et attestant que les prescriptions des alinéas 1 et 2 ont été observées.

(2). Une semblable attestation doit être apposée sur la lettre de voiture par l'expéditeur, avec légalisation de la signature.

XXXVII.

Les *cartouches chargées,* savoir :

1. Les *cartouches métalliques à étuis exclusivement en métal,*
2. Les *cartouches dont les étuis ne sont que partiellement en métal,*
3. Les *cartouches à étuis en papier, juxtaposées dans des boîtes de fer-blanc, bien fermées,*

sont transportées dans les conditions suivantes :

a. Dans les cartouches métalliques, les projectiles doivent être assez solidement unis aux étuis métalliques pour qu'il ne puisse y avoir déta-

Digitized by Google

chement des projectiles et échappement de la poudre. Les cartouches, dont les étuis sont en carton et doublés d'une enveloppe métallique interne ou externe, doivent être construites de telle manière que toute la quantité de poudre se trouve dans la portion inférieure métallique de la cartouche et soit confinée par un bouchon ou une pastille. Le carton de la cartouche doit être d'une nature telle qu'il ne puisse se casser pendant le transport.

b. Les cartouches doivent d'abord être solidement emballées dans des récipients en fer-blanc, dans des boîtes en bois ou dans de solides cartons, de manière qu'elles ne puissent se déplacer. Ces divers récipients doivent ensuite être serrés, juxtaposés et empilés, dans de solides caisses en bois, bien confectionnées, dont les parois doivent avoir les épaisseurs minimums indiquées ci-après :

Poids brut de la caisse.						Épaisseur minimum des parois.
			Jusqu'à	5 kg	inclusivement....	7 mm
Au-dessus de	5 kg	»	50	»	....	12
»	50	»	100	»	....	15
»	100	»	150	»	....	20
»	150	»	200	»	....	25

Pour les caisses revêtues à l'intérieur de fer-blanc, l'épaisseur des parois peut être diminuée de 5mm; toutefois, elle ne doit jamais descendre au-dessous de 7mm.

Les espaces vides qui peuvent rester doivent être comblés de carton, de rognures de papier, d'étoupe, de laine de bois ou de copeaux de bois, toutes ces matières complètement sèches, de telle manière qu'il ne puisse y avoir de ballottement dans la caisse pendant le transport.

c. Le poids brut d'une caisse remplie de cartouches ne doit pas dépasser 200kg.

d. La fermeture des caisses ne doit pas être faite avec des clous de fer. Les caisses doivent être munies d'une inscription indiquant nettement le contenu. Elles doivent, en outre, être munies d'un plombage ou d'un cachet, apposé sur deux têtes de vis du couvercle, ou d'une étiquette contenant la marque de fabrique, collée sur le couvercle et les parois.

e. L'expéditeur doit faire sur la lettre de voiture une déclaration, signée par lui et qui contienne l'indication de la marque du plombage, du cachet ou la marque de fabrique. Cette déclaration doit être ainsi conçue :

« Le soussigné déclare que l'envoi indiqué dans cette lettre de voiture, scellé de la marque ....., répond par sa nature et par l'emballage aux dispositions énoncées au n° XXXVII de l'annexe B de l'ordonnance pour le transport sur les chemins de fer allemands. »

Digitized by Google

XXXVII *a*.

CARTOUCHES A BALLE ET CARTOUCHES A PLOMB (MUNITIONS FLOBERT).

1. Les *cartouches à balle* doivent être emballées dans des boîtes en carton ou en fer-blanc, dans des boîtes en bois ou dans de solides sachets en toile.

2. Les *cartouches à plomb* doivent être solidement emballées dans des récipients en fer-blanc, dans des boîtes en bois ou dans de solides cartons, de telle manière qu'elles ne puissent se déplacer.

Les récipients pour *cartouches* à balle et à plomb doivent, de même que les cartouches, être soigneusement emballés dans de solides caisses ou qarils, et chaque colis doit être muni d'un bulletin collé, portant, suivant le contenu, l'indication : *Cartouches à balle* ou *Cartouches à plomb*.

XXXVIII.

Les pièces d'artifice fabriquées avec de la poudre en poussière comprimée et d'autres matières analogues sont transportées aux conditions suivantes :

1. Elles ne doivent contenir ni mélange de chlorate, de soufre et de nitrate, ni mélanges de chlorate de potasse et de ferro-cyanure de potassium; elles ne doivent également contenir ni sublimé corrosif, ni sels ammoniacaux de quelque espèce que ce soit, ni poussière de zinc, ni poudre de magnésium, ni en général aucune matière capable de s'enflammer aisément par friction, compression ou percussion, ou dont l'inflammation spontanée pourrait être à craindre. Elles doivent se composer exclusivement de poudre en poussière comprimée ou de matières analogues, telles que mélange de salpêtre, de soufre et de charbon, également à l'état comprimé. Chaque pièce isolée ne peut contenir plus de 30^{gr} de poudre en grains.

2. Le poids total des matières inflammables contenues dans les pièces d'artifice réunies en un même colis ne peut dépasser 20^{kg}, et celui de la poudre en grains qui entre dans leur composition : $2^{kg},5$.

3. Les pièces d'artifice doivent être emballées, chacune isolément, soit dans des cartons entourés de fort papier, soit dans du carton ou dans du papier d'emballage solide; l'amorce de chaque pièce doit être revêtue de papier ou d'étoffe, de telle sorte que le tamisage ne puisse se produire. Les caisses servant au transport doivent être complètement remplies et les espaces vides, s'il y en a, soigneusement comblés avec de la paille, du foin, de l'étoupe, des déchets de papier ou des matières analogues, de telle sorte que, même en cas de secousse, aucun déplacement des paquets ne

Digitized by Google

puisse avoir lieu. Les matières employées pour combler les espaces vides doivent être très propres et absolument sèches; pour cette raison, l'emploi de foin frais ou d'étoupe grasse, par exemple, est prohibé. Il est également interdit d'emballer dans la même caisse des pièces d'artifice et d'autres objets.

4. Les caisses doivent être faites avec de fortes planches d'une épaisseur de 22^{mm} au moins; leurs côtés doivent être ajustés au moyen de dents s'engrenant les unes dans les autres et le fond et le couvercle avec des vis d'une longueur suffisante. L'intérieur des caisses doit être entièrement tapissé de papier fort et résistant. Il ne doit rester sur l'extérieur des caisses ni trace ni résidu des matières contenues dans les pièces d'artifice. Le volume de la caisse ne doit pas dépasser $1^{mc},2$, son poids brut ne peut être supérieur à 75^{kg}. Les caisses doivent porter, d'une manière apparente, l'inscription : *Pièces d'artifice de poudre en poussière,* ainsi que le nom de l'expéditeur. Chaque envoi doit, en outre, être accompagné d'une déclaration indiquant l'espèce des pièces d'artifice qu'il contient, et spécifiant, notamment, si ce sont des fusées, des roues, des pièces d'artifice pour salon, etc.

5. Chaque envoi doit être accompagné d'une déclaration de l'expéditeur attestant que les prescriptions énoncées aux chiffres 1 à 4 ont été observées; la signature devra être dûment certifiée.

XXXIX.

Le *fulmi-coton comprimé contenant au moins* 15 *pour* 100 *d'eau* est admis au transport aux conditions suivantes :

1. Il doit être soigneusement emballé dans des récipients étanches, résistants, aux parois solides. Ces récipients doivent porter, d'une manière apparente : *Fulmi-coton humide, comprimé.* Le poids maximum de chaque colis isolé ne peut être de plus de 90^{kg}.

2. Cette matière ne doit être admise ni au transport par grande vitesse, ni au transport par trains de voyageurs; le transport par trains mixtes n'est autorisé que pour les lignes sur lesquelles ne circulent pas de trains de marchandises.

3. L'expéditeur doit déclarer dans la lettre de voiture que la nature du fulmi-coton et l'emballage sont conformes aux prescriptions ci-dessus énoncées; sa signature doit être dûment certifiée.

4 Le fulmi-coton ne peut être transporté avec d'autres marchandises, dans un même wagon, que si celles-ci ne sont pas facilement inflammables.

5. Il est interdit de placer dans la même voiture, avec le coton-poudre, les articles énumérés sous les chiffres 1, 2, 3, 5 et 6 du n° XXXVI, ainsi que les mèches (n°s II et XXXVI *a*).

Digitized by Google

6. Pour le surplus, les articles énumérés au n° XXXVI peuvent être transportés, en observant les conditions spéciales auxquelles ils sont soumis, avec du coton-poudre dans la même voiture, pourvu que le coton-poudre soit destiné à être déchargé en même temps que ces articles et que les récipients qui le contiennent ne soient pas munis de bandes de fer.

7. Les wagons découverts employés au transport du fulmi-coton doivent être bâchés.

XL.

(1). Le *fulmi-coton sous forme d'ouate* et le *fulmi-coton* (coton nitré) *pour collodion* sont acceptés au transport dans des récipients parfaitement étanches solidement emballés dans de fortes caisses en bois, à la condition qu'ils contiennent au moins 35 pour 100 d'eau.

(2). La lettre de voiture doit contenir une déclaration revêtue de la signature de l'expéditeur et de celle d'un chimiste connu du chemin de fer, attestant que la nature de la marchandise et l'emballage sont conformes aux prescriptions ci-dessus énoncées. Les signatures doivent être dûment certifiées.

(3). Si ces substances contiennent une proportion d'eau inférieure, il y a lieu d'appliquer les prescriptions du n° XXXVI alinéa 4.

XLI.

Les *bonbons fulminants* sont admis au transport à condition qu'ils soient enfermés par nombre de 6 à 12 dans des cartons et que ces cartons soient emballés dans des caisses en bois.

XLII.

Les *feux de Bengale préparés à la laque* (*feux de Bengale de salon*) *sans amorces,* les *papiers nitrés, bougies fulminantes, lances fulminantes, allumettes munies d'un feu de Bengale* et *autres objets analogues,* doivent être emballés dans des récipients en forte tôle ou en bois solidement assemblés, dont le volume ne devra pas dépasser $1^{mc},2$. L'emballage doit être fait solidement et de telle sorte que les récipients ne contiennent pas d'espaces vides. Les caisses doivent porter une inscription indiquant leur contenu.

XLIII.

Les *pastilles fulminantes* et les *amorces* sont soumises aux dispositions suivantes :

1. Elles doivent être emballées dans des boîtes de carton par 100 pastilles ou amorces, au plus, lesquelles ne doivent pas contenir en tout plus de $0^{gr},75$ de matière fulminante. 12 boîtes, au plus, doivent être réunies en un

Digitized by Google

rouleau et 12 rouleaux au plus doivent être réunis en solides paquets enveloppés de papier.

2. Les paquets doivent être emballés dans des récipients en tôle très forte ou dans de très solides caisses en bois, dont la capacité n'excède pas $1^{mc},2$, sans addition d'autres objets, de telle manière qu'un intervalle d'au moins 30^{mm} soit ménagé entre les parois du récipient et le contenu, intervalle qui doit être comblé de sciure de bois, de paille, d'étoupe ou d'une autre matière analogue, et qu'il ne puisse y avoir mouvement ou déplacement des paquets, même lorsqu'il y a secousse.

3. Outre l'indication du contenu, les récipients doivent porter la désignation de l'expéditeur et de la fabrique.

4. Chaque envoi doit être accompagné d'un certificat du fabricant et d'un chimiste accrédité, constatant que les prescriptions énoncées ci-dessus, sous les chiffres 1 à 3, ont été observées.

XLIV.

Les *pois fulminants* sont admis aux conditions suivantes :

1. Ils doivent être emballés, par nombre de 1000 pièces au plus, dans des boîtes de carton garnies de sciure de bois et enveloppées elles-mêmes dans du papier. Ces pois fulminants ne doivent pas contenir, en totalité, plus de $0^{gr},5$ de fulminate d'argent.

2. Les boîtes doivent être placées dans des récipients en forte tôle ou de solides caisses en bois, d'un volume de $0^{mc},5$ au plus; un espace vide de 30^{mm} au moins doit exister entre les parois de la caisse et son contenu. Cet espace vide doit être rempli de sciure de bois, de paille, d'étoupe, ou de toute autre matière analogue, de telle sorte que, même en cas de secousses, aucun mouvement ou déplacement des paquets ne puisse se produire; ces paquets ne peuvent être emballés avec d'autres objets.

3. Les récipients et caisses doivent porter, d'une manière apparente, l'indication du contenu, le nom de l'expéditeur et celui de la fabrique.

4. Chaque envoi doit être accompagné d'une déclaration revêtue de la signature du fabricant et de celle d'un chimiste connu du chemin de fer, attestant que les prescriptions énumérées ci-dessus aux chiffres 1 à 3 ont été observées.

LIV.

Pour le transport de l'*acide nitrique ordinaire* et de l'*eau-forte*, il y a lieu de faire application des prescriptions énoncées au n° XV. Lorsque ces articles s'expédient en ballons de verre, en bouteilles de verre ou en cruchons, on doit se conformer en outre aux dispositions suivantes :

1. Les matières employées pour envelopper les ballons, les bouteilles ou les cruchons dans les récipients ou paniers, comme la paille, le foin, etc.,

Digitized by Google

doivent être imprégnées d'une solution de chlorure de calcium de manière qu'elles ne puissent prendre feu par le contact direct d'une flamme. Au lieu de la solution de chlorure de calcium on peut aussi employer une solution de sulfate de soude, de chlorure de sodium, de chlorure de magnésium, de sulfate de magnésie ou de chlorure de fer.

2. Pendant le chargement et le déchargement, les récipients ou paniers ne doivent pas être portés sur des brouettes ou sur les épaules ou sur le dos, mais seulement par les poignées dont ils sont munis à cet effet.

3. Les récipients ou paniers doivent être attachés par des cordes aux parois du wagon et entre eux. Le chargement ne doit pas se faire en couches superposées, mais en une seule couche par juxtaposition.

FIN DE LA DEUXIÈME PARTIE DU TOME VII.

Digitized by Google

Digitized by Google

TABLE ANALYTIQUE.

PREMIÈRE PARTIE.

DOCUMENTS TECHNIQUES.

Pages.

Notice sur le service des poudres et salpêtres, publiée à l'occasion du centenaire de l'École polytechnique; par M. Émile Sarrau, membre de l'Institut, ingénieur en chef des poudres et salpêtres..... 7

I. — Organisation..... 7

II. — Travaux techniques..... 13

III. — Travaux scientifiques..... 24

Aperçu historique sur le service des poudres et salpêtres; par M. E. Désortiaux, ingénieur des poudres et salpêtres..... 32

§ I. — Origines et première organisation du service des poudres et salpêtres (1338-1547)..... 33

§ II. — Participation des villes et communautés à la fourniture de salpêtre (1547-1628)..... 37

§ III. — Système des marchés (1628-1775)..... 38

§ IV. — Régie et agences des poudres et salpêtres (1775-1816)..... 48

§ V. — Service des poudres et salpêtres rattaché à l'artillerie (1816-1865)..... 59

§ VI. — Service des poudres et salpêtres rattaché aux manufactures de l'État (1865-1874)..... 65

§ VII. — Service des poudres et salpêtres rattaché au ministère de la guerre (1874) et constitué en service spécial (1876)..... 66

Conclusions..... 72

Note sur la fabrication du nitrate d'ammoniaque à la raffinerie nationale de Lille; par M. Morin, ingénieur en chef des poudres et salpêtres..... 76

Deuxième note sur la fabrication de l'éther..... 79

Note sur l'emploi de l'air comprimé pour le transport des acides; par M. Dalsace, sous-ingénieur des poudres et salpêtres..... 87

Fabrication de l'acide nitrique dans les établissements du service des poudres et salpêtres..... 98

Digitized by Google

Pages.

I. — Note sur la fabrication de l'acide nitrique a la poudrerie du Moulin-Blanc; par MM. Maissin et Guinot, ingénieurs des poudres et salpêtres..... 99

II. — Note sur la fabrication de l'acide nitrique a la poudrerie d'Angoulême; par M. Bruley, ingénieur des poudres et salpêtres... 117

Compte rendu des travaux de la Commission des substances explosives pendant l'année 1893..... 139

I. — Analyse des rapports établis pendant l'année..... 139

II. — Revue des travaux effectués pendant l'année..... 144

Annexe. — Composition de la Commission des substances explosives au 31 décembre 1893..... 146

Théorie des explosifs; par M. Émile Sarrau, ingénieur en chef des poudres et salpêtres, membre de l'Institut..... 148

Première partie. — Propriétés générales des explosifs..... 148

Chap. I. — Lois moléculaires..... 149

Chap. II. — Données thermochimiques..... 154

I. — Principes de la thermochimie..... 154

II. — Mesures calorimétriques..... 156

III. — Température théorique des réactions explosives... 162

Chap. III. — Les systèmes gazeux explosifs..... 166

I. — Étude expérimentale..... 166

II. — Calculs théoriques..... 170

Chap. IV. — La mesure des hautes pressions..... 174

I. — Manomètres à écrasement..... 175

II. — Théorie des crushers..... 179

III. — Expériences..... 186

IV. — Formule des pressions..... 191

Chap. V. — Composition des explosifs..... 196

I. — Poudres ordinaires..... 196

II. — Composés dérivés de l'acide azotique..... 198

III. — Composés diazoïques..... 200

IV. — Explosifs à base d'azotate d'ammoniaque..... 201

V. — Explosifs divers..... 201

Chap. VI. — Les produits des réactions explosives..... 202

I. — Propriétés générales..... 202

Digitized by Google

Pages.

II. — Décomposition sous de fortes pressions..... 203

III. — Décomposition sous de faibles pressions..... 207

IV. — Décomposition par détonation..... 208

CHAP. VII. — CALCULS THÉORIQUES..... 210

I. — La méthode..... 210

II. — Quelques formules générales..... 215

III. — Les applications..... 218

CHAP. VIII. — TRAVAIL DES EXPLOSIFS..... 226

TABLEAUX..... 230

DEUXIÈME PARTIE.

DOCUMENTS ADMINISTRATIFS.

France.

N° 160. — MINISTÈRE DES TRAVAUX PUBLICS. — DIRECTION DES CHEMINS DE FER. — TRANSPORT DE LA DYNAMITE..... *3

N° 161. — EXPLOSION SURVENUE, LE 21 SEPTEMBRE 1891, DANS LES DÉPÔTS N°s 8 ET 12 DE LA POUDRERIE DE SAINT-MÉDARD (Lettre collective n° 10)..... *4

N° 162. — SURVEILLANCE DES FABRICATIONS DE POUDRE PAR LES PARTICULIERS. DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES. (Circulaire n° 37 du 20 août 1892)..... *28

N° 163. — EXPLOSION SURVENUE LE 23 JANVIER 1892, DANS L'USINE DE LISSAGE N° 73 DE LA POUDRERIE DE SAINT-CHAMAS (Lettre collective n° 12)..... *29

N° 164. — MAINTIEN DE L'EMPLOI DU GRENOIR A RETOUR DANS LA FABRICATION DES POUDRES. PRÉCAUTIONS ET MESURES A PRENDRE A CE SUJET (Lettre collective n° 14)..... *50

N° 165. — COUP DE FOUDRE A LA POUDRERIE NATIONALE DU RIPAULT (Lettre collective n° 15)..... *57

N° 166. — RUPTURE D'UNE TONNE DE LISSAGE A LA POUDRERIE DE SAINT-CHAMAS (Lettre collective n° 17)..... *59

N° 167. — MESURES A PRENDRE CONTRE L'ACTION DE LA FOUDRE SUR LES

Digitized by Google

Pages.

CABLES MÉTALLIQUES, LES POULIES-CABLES ET LEURS SUPPORTS (Lettre collective n° 18)..... *62

N° 168. — ARRÊTÉ DU 6 FÉVRIER 1893, FIXANT LES PRIX DE VENTE DES POUDRES A FEU DESTINÉES A L'EXPORTATION (inséré au *Journal officiel* du 10 février 1893)..... *63

Fixation pour 1893 des prix de vente des poudres d'exportation. Direction générale des contributions indirectes (Circulaire n° 50, du 22 février 1893)..... *67

N° 169. — ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL DU 15 FÉVRIER 1893, SUR LES CONDITION DE FABRICATION DES DYNAMITES PAR L'INDUSTRIE PRIVEE.. *68

N° 170. — DÉCRET DU 17 FÉVRIER 1893, FIXANT LE PRIX DE VENTE, EN CORSE, DE LA POUDRE DE CHASSE PYROXYLÉE..... *69

N° 171. — SURVEILLANCE DES OPÉRATIONS DES ARTIFICIERS. — DIRECTION GÉNÉRALE DES CONTRIBUTIONS INDIRECTES (Lettre commune n° 60, du 18 février 1893)..... *69

N° 172. — MODE DE CONSTRUCTION DES USINES AVEC MUR DE MASQUE (Lettre collective n° 2)..... *70

N° 173. — INCENDIE DANS LA FABRIQUE DE COTON-POUDRE, A ANGOULÊME (Lettre collective n° 4)..... *71

N° 174. — SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES (Lettre collective n° 5)..... *87

Liste des circonscriptions attribuées aux divers établissements du service des poudres et salpêtres..... *90

Situation des fabriques au 31 décembre 1892..... *93

Surveillance technique des fabriques d'artifices. — Direction générale des contributions indirectes (Circulaire n° 59 du 3 juin 1893)..... *95

N° 175. — DYNAMITE. — FABRICATION DE NOUVEAUX TYPES (Lettre collective n° 6)..... *97

Tableau des diverses dynamites actuellement fabriquées dans les dynamiteries françaises ou étrangères soumises à la surveillance permanente des agents des poudres et salpêtres..... *98

Allemagne.

N° 1. — LOI DU 9 JUIN 1884 CONTRE L'USAGE CRIMINEL ET PRÉSENTANT UN DANGER PUBLIC DES SUBSTANCES EXPLOSIVES..... *102

N° 2. — ORDONNANCE DE SEPTEMBRE 1884..... *105

Digitized by Google

Pages.

Modèle de registres. — I. Registre de dépôt..... *107

II. Registre de sortie..... *107

N° 3. — ORDONNANCE DE POLICE DU 19 OCTOBRE 1893 RELATIVE AU COMMERCE DES SUBSTANCES EXPLOSIVES..... *108

I. — Dispositions générales..... *108

II. — Dispositions spéciales pour le transport par voie de terre..... *112

III. — Dispositions spéciales pour le transport par eau..... *114

IV. — Dispositions sur le commerce des explosifs ainsi que sur leur conservation et leur débit..... *115

V. — Dispositions sur l'emmagasinage des substances explosives..... *117

VI. — Dispositions pénales..... *118

Disposition finale..... *119

N° 4. — ORDONNANCE DU 15 NOVEMBRE 1892, MODIFIÉE PAR AVIS DU 23 FEVRIER 1893, POUR LE TRANSPORT DES MARCHANDISES SUR LES CHEMINS DE FER ALLEMANDS..... *119

ANNEXE B. — Instruction sur les objets conditionnellement admis au transport..... *120

I à XXXV..... *120

XXXVI..... *127

A. — Emballage..... *128

B. — Expédition..... *131

C. — Moyens de transport..... *132

D. — Déchargement..... *132

E. — Mesures de précautions dans les gares et pendant le trajet..... *133

F. — Désignation des trains et disposition dans les trains des voitures chargées de substances explosives..... *134

G. — Escorte des envois de substances explosives..... *135

H. — Avertissement des gares intermédiaires et des administrations intéressées..... *135

J. — Arrivée à la gare de destination et livraison des envois. *135

XXXVI*a* à LIV..... *136

Digitized by Google

TABLE ALPHABÉTIQUE.

(On a marqué en **caractères gras** les noms d'auteurs, en PETITES CAPITALES les titres des articles et documents, en *italiques* toutes les autres indications.)

Acide nitrique : fabrication au Moulin-Blanc, 99; — à Angoulême, 117.
Accidents : v. Explosions, Incendie.
Acides (*Magasin aux*) : incendie, *71.
Air comprimé : emploi pour le transport des acides, 87.
ALLEMAGNE : réglementation, *102, *105, *108, *119.
Angoulême : incendie, *71; — fabrication de l'acide nitrique, 117.
APERÇU HISTORIQUE SUR LE SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES [E. Désortiaux] : 32.
ARRÊTÉ DU 6 FÉVRIER 1893, FIXANT LES PRIX DE VENTE DES POUDRES A FEU DESTINÉES A L'EXPORTATION : *63.
ARRÊTÉ INTERMINISTÉRIEL DU 15 FÉVRIER 1893, SUR LES CONDITIONS DE FABRICATION DES DYNAMITES PAR L'INDUSTRIE PRIVÉE : *68, *97.
Artificiers : surveillance, *69, *87.

Bordeaux : fabrication de l'éther, 79.
Bruley : Note sur la fabrication de l'acide nitrique à la poudrerie d'Angoulême, 117.

Chasse (*Poudres de*) : v. Pyroxylées (Poudres de chasse).
Commission des substances explosives : Compte rendu des travaux (1893), 139.
COMPTE RENDU DES TRAVAUX DE LA COMMISSION DES SUBSTANCES EXPLOSIVES PENDANT L'ANNÉE 1893 : 139.
Corse : prix de vente des poudres de chasse pyroxylées, *69.
Coton-poudre : explosion, *4; — incendie, *71.
COUP DE FOUDRE A LA POUDRERIE NATIONALE DU RIPAULT : *57; — mesures à prendre, *62.

Dalsace : Note sur l'emploi de l'air comprimé pour le transport des acides, 87.
DÉCRET DU 17 FÉVRIER 1893, FIXANT LE PRIX DE VENTE, EN CORSE, DE LA POUDRE DE CHASSE PYROXYLÉE : *69.
Dépôts : explosions, *4.
Desmaroux : Deuxième note sur la fabrication de l'éther, 79.
Désortiaux (**E.**) : Aperçu historique sur le service des poudres et salpêtres, 32.

Digitized by Google

DEUXIÈME NOTE SUR LA FABRICATION DE L'ÉTHER [Desmaroux] : 79.
Dynamite : transport, *3; — arrêté interministériel du 15 février 1893 sur la fabrication par l'industrie privée, *68; — fabrication de nouveaux types, *97.
DYNAMITE; FABRICATION DE NOUVEAUX TYPES : *97.

Éther : fabrication à Bordeaux, 79.
EXPLOSIONS : dépôts nos 8 et 12 de Saint-Médard (21 sept. 1891), *4; — usine de lissage n° 73 de Saint-Chamas (23 janv. 1892), *29.
Exportation (Poudres d') : prix de vente (1893), *63.

FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE DANS LES ÉTABLISSEMENTS DU SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES : 98.
Fabrication des poudres par les particuliers : surveillance, *28.
Fabriques d'artifices : surveillance, *69, *87.
Foudre : coup de foudre au Ripault, *57; — mesures à prendre, *62.
Grenoir à retour : maintien de son emploi, *50.

Guinot : v. Maissin et Guinot.

INCENDIE : hangar aux acides et fabrique de coton-poudre à Angoulême (13 juillet 1892), *71; — v. Explosions.

Lille : fabrication du nitrate d'ammoniaque, 76.
Lissage (Usine de) : explosion, *29; — rupture d'une tonne, *59.
LOI DU 9 JUIN 1884 CONTRE L'USAGE CRIMINEL ET PRÉSENTANT UN DANGER PUBLIC DES SUBSTANCES EXPLOSIVES [Allemagne] : *102.

Magasin aux acides : incendie, *71.
MAINTIEN DE L'EMPLOI DU GRENOIR A RETOUR DANS LA FABRICATION DES POUDRES; PRÉCAUTIONS ET MESURES A PRENDRE A CE SUJET : *50.
Maissin et Guinot : Note sur la fabrication de l'acide nitrique à la poudrerie du Moulin-Blanc, 99.
MESURES A PRENDRE CONTRE L'ACTION DE LA FOUDRE SUR LES CABLES MÉTALLIQUES, LES POULIES-CABLES ET LEURS SUPPORTS : *62.
MODE DE CONSTRUCTION DES USINES AVEC MURS DE MASQUE : *70.
Morin : Note sur la fabrication du nitrate d'ammoniaque à la raffinerie nationale de Lille, 76.
Moulin-Blanc : fabrication de l'acide nitrique, 99.
Murs de masque : *70.

Nitrate d'ammoniaque : fabrication à Lille, 76.
NOTE SUR LA FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE A LA POUDRERIE D'ANGOULÊME [Bruley] : 117.
NOTE SUR LA FABRICATION DE L'ACIDE NITRIQUE A LA POUDRERIE DU MOULIN-BLANC [Maissin et Guinot] : 99.
NOTE SUR LA FABRICATION DU NITRATE D'AMMONIAQUE A LA RAFFINERIE NATIONALE DE LILLE [Morin] : 76.
NOTE SUR L'EMPLOI DE L'AIR COMPRIMÉ POUR LE TRANSPORT DES ACIDES [Dalsace] : 87.
NOTICE SUR LE SERVICE DES POUDRES ET SALPÊTRES, PUBLIÉE A L'OCCASION DU CENTENAIRE DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE [Émile Sarrau] : 7.

ORDONNANCE DE POLICE DU 19 OCTOBRE 1893 RELATIVE AU COMMERCE DES SUBSTANCES EXPLOSIVES [Allemagne] : *108.

Digitized by Google

ORDONNANCE DE SEPTEMBRE 1884 [Allemagne] : *105.
ORDONNANCE DU 15 NOVEMBRE 1892, MODIFIÉE PAR AVIS DU 23 FÉVRIER 1893, POUR LE TRANSPORT DES MARCHANDISES SUR LES CHEMINS DE FER ALLEMANDS (Extraits) : *119.

Prix de vente : poudres d'exportation (1893), *63; — poudres de chasse pyroxylées en Corse, *69.
Pyroxylées (*Poudres de chasse*) : prix de vente en Corse, *69.

Réglementation des substances explosives en Allemagne : *102, *105, *108, *119.
Ripault (*Le*) *:* coup de foudre, *57.
RUPTURE D'UNE TONNE DE LISSAGE A LA POUDRERIE DE SAINT-CHAMAS : *59.

Saint-Chamas : explosion, *29; — rupture d'une tonne de lissage, *59.
Saint-Médard : explosion, *4.
Sarrau (**Émile**) : Notice sur le service des poudres et salpêtres, publiée à l'occasion du centenaire de l'École polytechnique, 7; — Théorie des explosifs, 148.
Service des poudres et salpêtres : Notice, 7; — Aperçu historique, 32.
SURVEILLANCE DES FABRICATIONS DE POUDRES PAR LES PARTICULIERS : *28.
SURVEILLANCE DES OPÉRATIONS DES ARTIFICIERS : *69.
SURVEILLANCE TECHNIQUE DES FABRIQUES D'ARTIFICES : *87.

THÉORIE DES EXPLOSIFS [Émile Sarrau] : 148.
TRANSPORT DE LA DYNAMITE : modification du poids brut, *3.
Transport des acides : emploi de l'air comprimé, 87.

Usines : construction avec murs de masque, *70.

Vente : v. Prix de vente.

21013 Paris. — Imprimerie GAUTHIER-VILLARS ET FILS, quai des Grands-Augustins, 55.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

UNIVERSITY OF MICHIGAN
3 9015 06819 1264

Digitized by Google